

SÄRTRYCK  
ERIPAINOS

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN JULKAISUJA 54.2  
COMMUNICATIONES INSTITUTI FORESTALIS FENNIAE 54.2

SKOGSGRÄNSTALLEN SOM INDIKATOR FÖR  
KLIMATFLUKTUATIONERNA I NORRA FENNO-  
SKANDIEN UNDER HISTORISK TID

GUSTAF SIRÉN

SUMMARY IN ENGLISH

LIBRARY  
BOREAL INSTITUTE

DEC 28 1961

HELSINGFORS 1961

POLAR  
PAM  
4831

POLARPAM

PAM 634.181.65 ; (#548) SIRÉN



PAM 634.181.65 : (K548)  
with authors complement

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN JULKAISUJA 54.2  
COMMUNICATIONES INSTITUTI FORESTALIS FENNIAE 54.2

---

# SKOGSGRÄNSTALLEN SOM INDIKATOR FÖR KLIMATFLUKTUATIONERNA I NORRA FENNO- SKANDIEN UNDER HISTORISK TID

GUSTAF SIRÉN

---

SUMMARY IN ENGLISH

HELSINGFORS 1961



## Förord

Föreliggande arbete om de indikativt bestämda klimatfluktuationerna i norra Fennoskandien under historisk tid har sin upprinnelse i det intresse det praktiska skogsbrukets företrädare börjat visa skyddsskogarna i norr. Vid de diskussioner, som förts kring frågan om ifrågavarande skogars ändamålsenliga behandling, har man ständigt stupat på ovissheten om den framtida klimatutvecklingen. En oväntad klimatdepression har förmodats kunna omintetgöra resultaten av t. o. m. de riktigaste forstliga åtgärder.

I denna situation vaknade tanken på att kartlägga gångna tiders klimatvariationer på indikativ väg och på basen av de erhållna resultaten förelägga en prognos, vars tillförlitlighet den faktiska utvecklingen relativt snabbt kunde utvisa.

Arbetet har genomförts i tre etapper. Under åren 1957—58 undersöktes tallens reproduktionsvillkor i detta nu och under tidigare skogshistoriska skeden. Under år 1959—60 insamlades c. 2 000 prov från urgamla tallar, torrakar och kolstubbar i akt och mening att utreda radialtillväxtens variationer under tidigare sekler. Följande fas i arbetet inträffade år 1961, då de erhållna tillväxtserierna behandlades i IBM:s datamaskiner.

Nu då projektet är i det närmaste slutfört är det mig en angenäm plikt att tacka alla dem som på olika sätt bistått mig med råd och dåd. Mitt tack riktas härvid i första hand till Skogsforskningsanstaltens chef, professor Risto S a r v a s, för att han — trots ofta otillräckliga anslag — med största förtroende berett mig tillfälle att förverkliga de ursprungliga intentionerna. Det bereder mig också en alldeles speciell tillfredsställelse att i detta sammanhang få tacka Stiftelsen för utforskandet av Finlands naturtillgångar, Suomen kulttuurirahasto och Svenska Vetenskapliga Centralrådet i Finland för det ekonomiska stöd jag erhållit för fullföljandet av detta arbete. Ett stipendium innebär alltid ett förtroende — och jag hoppas att denna uppsats i någon mån kan reducera min stora tacksamhetsskuld.

Till mina kamrater från fältarbetsskedet, doktorerna Kullervo K u u s e l a, Paavo J u u t i n e n, revirforstmästare Axel C a s t r é n och ekonom Eero M ä k i n e n, samt ett antal scouter från scoutkåren Spanarna i Helsingfors vill jag också uttrycka mitt uppriktigaste tack; likaså till alla

dem, som deltagit i det krävande mikroskoperingsarbetet i laboratoriet. Härvidlag vill jag ge mitt fullaste erkännande åt pol.kand. Otto Ukkonen, forstmästarna Erkki Tunkkari, Aake Kaarnama, Pentti Räsänen, Eero Heliö, Matti Leikola, forst. stud. Teuri Salminen, Veli Kaitainen och Uno Kauhanen, tekn. stud. Pekka Pitkämäki, agr. A. V. Krogell och fröken Leena Hukkinen för omsorgsfullt utförda uppdrag.

Vid den matematisk-statistiska bearbetningen av årsringsindexseriernas serialanalys har jag biståtts av magistrarna Olli Varho och Pentti Kerola från IBM, som även berett mig ett enastående tillfälle att deltaga i en synnerligen lärorik specialkurs i Blaricum, Holland. Vidare har jag haft förmånen att få diskutera vissa med autoregressionsanalysen förknippade teoretiska problem med professor Gustav Elfving, som dessutom haft vänligheten att granska arbetets matematiska utförande. Med ledamoten av Finlands Akademi, professor Erik Palmén och professor Ilmari Hustich har jag även haft tillfälle till inspirerande tankeutbyte. Till samtliga ovannämnda riktar jag mitt varmaste tack och betygar dem samtidigt min stora aktning och uppskattning för det värdefulla stöd de givit mig vid fullbordandet av den första etappen i denna undersökning.

Helsingfors, den 10. oktober 1961.

*Gustaf Sirén*

## Innehåll

	Sid.
0. Förord .....	3
1. Inledning .....	7
2. Materialets insamling och bearbetning .....	13
21. Bestämning av reproduktionsperioderna .....	13
22. Insamlingen av borrhåls och stamsektioner .....	14
23. Mätning av radialtillväxten .....	16
3. Materialets statistiska bearbetning .....	19
31. Årsringsseriernas standardisering och konnektering .....	19
32. Serialanalysens teori .....	21
4. Undersökningens huvudresultat .....	26
41. Reproduktionsperioderna under tiden 1150—1960 .....	26
42. Sambandet mellan klimat och tillväxt .....	31
43. Indexserierna .....	41
44. Radialtillväxtens periodicitet .....	46
45. Prognos för temperaturklimatet under tiden 1960—2060 .....	51
5. Diskussion .....	53
6. Litteraturförteckning .....	59
7. Summary .....	65



## 1. Inledning

Under de senaste decennierna har ett stort antal vetenskapliga arbeten publicerats med anledning av den sedan sekelskiftet pågående klimatförbättringen i Fennoskandien. Detta positiva oscillationsutslag av klimatutvecklingen, som för övrigt dokumenterats av företrädare för vitt skilda vetenskapsdiscipliner<sup>1)</sup> har haft och synes allt fortfarande ha mycket stor ekologisk betydelse. Parallellt med den positiva klimatfluktuationen uppträder nämligen en mängd biologiska fenomen, vars samband med klimatförbättringen är uppenbar. Den omständigheten, att en absolut säker korrelation mellan de klimatbetingade biologiska fenomenen och de meteorologiska elementen ej alltid kunnat konstateras, förmår ej heller undanskymma det ur växtgeografisk synpunkt självklara faktum att t. ex. i skogsgränstrakterna luftens temperatur förefaller att representera det klimatelement, som utgör den ekologiskt betydelsefullaste faktorn. Detta framgår även av ett flertal nord-europeiska utredningar av vilka Enquist (1933), Erlandsson (1936), Ordning (1941), Hustich och Elfving (1944), Hustich (1945, 1948a, 1952a) och Mikola (1950, 1959) bör nämnas.

Ur skogsbrukets synvinkel är skogsgränsens pågående och åtminstone delvis klimatbetingade förskjutning norrut och uppför fjällsluttningarna givetvis av speciellt intresse. Den pessimistiska uppfattning, som minst ett sextiotal norska, svenska, finska och ryska forskare kring sekelskiftet hade om skogsgränsens möjligheter att hålla stånd vid de yttersta utposterna förbyttes småningom i försiktig optimism (jmf. Hustich 1945, s. 46). Allt sedan 1920-talet har isynnerhet tallens reproduktion och tillväxt i norra Fennoskandien (jmf. Eide 1923, 1932, Bathen 1925, 1935, Nordfors 1928, Wibeck 1929, Eneroth 1931, Enqvist 1933, Ruden 1934, 1949, Ordning 1935, Hustich 1940—1956b, Mikola 1950, 1952 och Eklund 1954), gynnats av den meteorologiskt väldokumenterade ökningen av sommarens medeltemperatur (jmf. t. ex.

<sup>1)</sup> Detta sakförhållande framgår bl. a. av följande arbeten: Griggs (1934, 1937), Ahlmann (1939, 1947), Jensen (1939), Scherhag (1939), Wagner (1940), Kincer (1946), Willet (1950), Regel (1950), Jurva (1952), Wallen & Ahlmann (1954), Erkamo (1956) och Simojoki (1960).

Ångström 1941, Liljequist 1950, Keränen 1943, 1952, Lysgaard 1949, Kortüm 1955 m. fl.). En liknande tillväxtreaktion och re-invasion norrut har konstaterats av ryska forskare på Kola halvön, i norra Ryssland och Sibirien (jmf. Tjulina 1937, Tikhomirov 1941, 1957, Pjavitjenko 1952, Andrejev 1954).

Förutom de växtgeografiska konsekvenserna av den aktuella klimatoscillationen har även en annan betydande fråga fångat forskarnas uppmärksamhet. Man har frågat sig hur länge denna klimatförbättring kan pågå och på så sätt åter kommit in på frågan om klimatets eventuella periodicitet. Sistnämnda tankegång är nämligen ingalunda ny. Redan den gammaltestamentliga legenden om de sju goda och de sju dåliga åren kan uppfattas som ett första tecken på praktisk tolkning av långvariga naturiakttagelser. Linné upptäckte ett par årtusenden senare möjligheten att på indikativ väg kartlägga gångna tiders klimatiska förhållanden och yttermera cirka ett århundrade fram i tiden tager hypoteserna om klimatets periodicitet tämligen fasta former. Till en början var det främst den paleobotaniska och kvartärgeologiska forskningen som bragte i dagen material och resultat som med ovedersäglig evidens talade för förefintligheten av klimatiska cyklar. Det visade sig emellertid snart att intervalllängderna varierade från några tiotaltusen år till några hundra år. Glacial- och interglacialtiderna representerar de förstnämnda klimatfluktuationerna, medan den postglaciala klimatutvecklingen karakteriseras av en c. 800-årig periodicitet (jmf. Aario 1943, s. 147). Det faktum att analyser av pollen, makrofossil och rekurrensytor möjliggör endast en mycket grov datering, förringar likväl icke nämnvärt dessas värde som indikatorer på klimatisk oscillation av cyklisk art emedan de tidsperioder som härvidlag kommer ifråga ompänner flere sekel.

Mot denna bakgrund och med beaktande av att klimatets dygns- och årsvariationer är cykliska till sin karaktär synes det svårt att invändningsfritt acceptera frånvaron av all cyklicitet av intermediär natur isynnerhet som ett antal orienterande undersökningar snarare synes tyda på förefintligheten av olika slags perioder. De på nordeuropeiskt material baserade utredningar, som tills dato sett dagens ljus, har emellertid trots många förtjänster i de flesta fall varit behäftade med en ur här avsedd målsättningssynpunkt svår-eliminierbar brist. Den tidrymd de ompänt har varit för kort för att möjliggöra uppdagandet av klimatecyklar som omfattar decennier och sekler. Detta faktum gjorde det omöjligt för t. ex. Hustich och Elfving (1944) att i sitt på dendrokronologiskt material baserade serialanalytiska försök nå ett entydigt resultat angående den klimatiska periodicitetens eventuella förekomst. Liknande svårigheter har mött Eklund (1954) och trots något längre årsringsserier även Erlandsson (1936), Ordning (1941) Eidem (1943) och Mikola (1950). De fyra sistnämnda ha likväl funnit en gemensam period av c. 11 års längd, och med undantag för

Ordning även en 35-års period. Å andra sidan har uppfattningen om klimatets eller enskilda klimatelements delvis cykliska natur starkt ifrågasatts (jmf. t. ex. E r i k s s o n 1942).

Med utgångspunkt från de i detta nu kända geofysiska fenomen som determinerar klimatets globala utveckling, är det ej uteslutet att de eventuellt förekommande periodiska fenomenen kan skymmas och t. o. m. överskuggas av operiodiska störningar av olika slag. Ifall förhållandet mellan dessa bägge klimatkomponenter  $> 1$  överväger emellertid de periodiska fenomenen, vilket i sin tur medför att en prognos med matematiskt uttryckbar signifikans bör kunna uppställas för den framtida klimatutvecklingen.

Här är icke platsen att diskutera betydelsen av en dylik långtidsprognos; den positiva eller negativa överensstämmelsen mellan förutsägelsen och de faktiska förhållandena ger i sinom tid ett bättre utgångsläge för en objektiv bedömning av dess praktiska värde. För skogsbrukets vidkommande skulle en tillförlitlig prognos i varje fall skapa värdefulla förutsättningar för säkrare beräkningar av råvarubilansen samtidigt som vissa skogsvårdsåtgärder bättre än tidigare kunde koncentreras till de år då t. ex. reproduktionsvillkoren ur klimatisk synpunkt kan antagas bli gynnsammare än normaliter.

\* \* \*

Klimatfluktuationer av olika art, intensitet och varaktighet registreras som känt säkrast på instrumentell väg. De meteorologiska observationerna sträcker sig emellertid än så länge endast ett par århundraden — i civilisationens gränsområden endast ett par årtionden — tillbaka i tiden. För norra Fennoskandiens vidkommande tillkommer yttermera den omständigheten att det meteorologiska observationsnätet med beaktande av den synnerligen variationsrika topografin måste betecknas som alltför glest. Uppfattningen om klimatet och dess eventuella periodicitet under gångna tider måste fördenskull bygga nästan helt på olika slag av klimatindikatorer.

Utan att i detta sammanhang gå närmare in på det banbrytande arbete, som utförts inom andra vetenskapsdiscipliner, kan det konstateras att dendrokronologin erbjuder en utomordentlig möjlighet att överbrygga klyftan mellan å ena sidan  $C_{14}$ -dateringar och paleobotanikernas rekurrensytor och å andra sidan den modärna meteorologins instrumentella data.

Utgångsläget för dendrokronologisk forskning i norra Fennoskandien är emellertid något komplicerat. På plussidan kan antecknas att åtminstone en del av skogarna i vissa delar av de avlägsnaste skogsgränstrakterna fått utvecklas utan större kulturpåverkan. Som en värdefull pluspost kan yttermera trädens — i detta speciella fall tallens — sensibilitet för ekologiskt signifikanta temperaturfluktuationer anföras. På minussidan måste deras

relativt låga ålder antecknas. Detta missförhållande kan visserligen i någon mån avhjälpas genom att komplettera provtagningen från levande träd med prov från torrakar och kolstubbar. Ett större utnyttjande av de sistnämnda stöter emellertid ofta på dateringssvårigheter. Minussidan kan yttermera utökas med det faktum att radialtillväxten hos tall i skogsgränstrakterna ingalunda är enbart temperaturbetingad. Som störande element anför *Hustich* (1945, s. 17—18):

1. den efterverkan föregående års temperatur via näringsupplagringen synes ha på tillväxten,
2. assimilationsytans beroende av föregående års temperaturförhållanden,
3. blomning och frösättning; isynnerhet frömognaden antages vara fysiologiskt så krävande att radialtillväxten blir lidande. *Hustich* har senare utrett sambandet mellan blomning och radialtillväxt (*Hustich* 1956a, s. 12) medan *Mork* verifierat uppfattningen om frösättningseffekten genom att korrelera årsringsbredden med fröproduktionen (*Mork* 1957, s. 369). Detta samband har f. ö. rent principiellt redan länge varit känd bland skogsbiologerna (se t. ex. *Antevs* 1925).

Härutöver bör ytterligare ett biologiskt skeende med en troligen avsevärt försenande effekt anföras som störande faktor. I samband med en undersökning om den gamla norrländska granskogens reaktionsförmåga efter genomhuggning observerade *Näslund* (1942) att tillväxtreaktionen inträffade först 3—4 år efter ingreppet och att den var långsammast på de svagaste bonitetserna. Kulminationen nåddes ungefär 15 år efter det genomhuggningen utförts. Denna kulmination betraktade *Näslund* (op. c. s. 94), som det fysiologiska utslaget av det under tidigare år uppsamlade humusförrådets snabba realisation. Liknande av andra störningar betingade reaktioner har i Finland för tallens del noterats av bl. a. *Lehto* (1948) och *Nyysönen* (1952); för granens vidkommande har förf. gjort iakttagelser som överensstämmer i stort sett med resultaten från Norrland (*Sirén* 1952).

*Näslunds* tankegång kan i annan form överföras på förhållandena vid skogsgränsen. Förf. har i ett tidigare arbete (*Sirén*, 1955, s. 305) visat hur nedbrytningsintensiteten av humus är temperaturbetingad. Om temperaturen i humuslagret nedgår från t. ex.  $+16^{\circ}\text{C}$  till  $+12^{\circ}\text{C}$  nedgår t. ex. respirationen — som här kan betraktas som en indikator för nedbrytningsintensiteten — med c. 25 %. En yttermera avkylning till  $+10^{\circ}\text{C}$  reducerar av allt att döma nedbrytningen med c. 35 %. Konsekvenserna av denna humusreaktion innebär bl. a. att en stagnation i nedbrytningen med tyåtföljande reducerade näringsutbud kan tänkas inträffa under långa klimatdepressioner. Senare inträffande positiva temperaturfluktuationer förorsakar troligen en kompensation, som mycket väl kan tänkas överbrygga korta

och temporära negativa klimatoscillationer. Härvid är att observera att den humusnedbrytande mikrofloras och -faunans positiva reaktion också vid kontinuerlig klimatförbättring kan försenas något år på grund av populationsdynamisk tröghet. Vid varaktiga klimatförsämringar inträffar återigen förseningar som kan tänkas yttra sig i att det assimilerbara näringsutbudets minskning först om några år kommer till synes i accentuerat nedsatt radialtillväxt. I detta sammanhang kan yttermera nämnas att *Hustich* funnit att eftersläpningseffekten hos tall förefaller vara markantare än hos gran beroende på att t. ex. reproduktionsförloppet är längre hos tallen (*Hustich* 1955 b, s. 5). Den »lag-effect» som omnämnes av *Hustich* — *Elfving* (1944) kan likaså närmast hänföras till kategorien internt betingade reaktioner. De av *Langleit* (1929) nämnda tillfälliga extremtemperaturerna är säkerligen även mycket beaktansvärda ekologiska faktorer.

Ovananförda gäller närmast temperaturbetingade störningar. Den växtfysiologiska forskningen torde kunna peka på andra klimatelement av liknande komplicerad betydelse. Emellertid råkar t. ex. sambandet mellan antalet soltimmar och lufttemperaturen under vegetationsperioden korrelera rätt väl, vilket givetvis är ägnat att dölja den egentliga kausaliteten.

Avbrott i skogsgränstallens normala utveckling — som naturligtvis också kan störas av kalamiteter av annat slag — är oftast antingen direkt eller indirekt klimatbetingade. Vinduttorkning under vårvintern är inget okänt fenomen vid trädgränsen. Högsommartorka kan bli ödesdiger på marker med låg vattenkapacitet. Insekt- och svampsjukdomar förekommer och eldens inverkan på radialtillväxten är ofta mycket karakteristisk. T. ex. under förutsättning att inga kambiumskador sker vid en typisk markbrand är konsekvenserna av elden enbart positiva, d. v. s. radialtillväxten är under en följd av år större än vad resultanten av klimat, mark och övriga bonitetskonstituenten normaliter förutsätter. Tiden för denna positiva reaktions varaktighet synes vara beroende av de av elden mobiliserade näringsämnenas riklighet. Eldöverlupna tjocka humuslager kan troligen indirekt påverka näringsutbudet under mer än ett sekel (jmf. *Sirén* 1955), men också tunna humuslager torde efter optimal eldinverkan förbättra näringsutbudet temporärt under 10—40 år i de förhållanden, som råder i skogsgränzonen. *Mikola* (1950, s. 89—91) anför å andra sidan ett utmärkt exempel på eldens negativa effekt.

Trots ovan anförda principiella invändningar och den kritik *Fries* (1918), *Langleit* (1929) och *Dobbs* (1951) anför, föreligger emellertid starka skäl att antaga att årsringsanalyser av trädindivid i skogsgränzonen kan accepteras som de tills dato säkraste indikatorerna för klimatet — enkannerligen temperaturklimatet — i Fennoskandien under tiden före meteorologins definitiva genombrott. De av *Erlandsson* (1936), *Hus-*

tich — Elfvig (1944) och Hustich (1945) anförda korrelationskoefficienterna mellan olika climatelement och radialtillväxten är härvidlag orienterande bevis nog. De vanskligheter och inexaktheter en dylik utgångspunkt trots allt medför bör — åtminstone teoretiskt sett — förr eller senare kunna uttryckas i form av signifikanstestade matematiska uttryck.

I avsikt att komplettera tidigare utredningar om klimatfluktuationerna i skogsgränzonen har här föreliggande utredning utsträckts att omfatta tiden c. 1150—1960, d. v. s. från tiden före den sista paleobotaniskt daterade rekurrensytan ända till modern tid. I målsättningen ingår som komponenter kartläggning av

- skogsgränstillens reproduktionstidpunkter under tidigare sekler,
- radialtillväxtens variation och dess förhållande till olika climatelement,
- den eventuellt förekommande (klimatbetingade) periodiciteten.

Denna utredning har föregåtts av ett tyvärr alltför fragmentariskt litteraturstudium, vars resultat tidigare presenterats i ett kompendium (Sirén 1958). Fördenskull hänvisas i denna utredning till tidigare litteratursammanställningar (Ording 1941, Hustich 1948a och Mikola 1950, 1952, Erkamo 1952, 1956 och Glock 1955). En förteckning över den litteratur som för denna utredning genomgått bifogas däremot i något förkortad form.

## 2. Materialets insamling och bearbetning

### 21. Bestämning av reproduktionsperioderna

Materialet till denna delutredning har insamlats i den finska Lappmarken i området mellan skyddskogarnas sydgräns och trädgränsen i norr, alltså ungefär mellan 68. och 70. breddgraden nordlig latitud. Arbetet skedde i två etapper; under åren 1957—58 dirigerades kartläggningen av reproduktionsperioderna till de trakter, där de äldsta ograverade bestånden, torr-rakarna och kolstubbarna antogs kunna uppbringas, d. v. s. till norra delen av det s. k. Saariselkäområdet, Repokaira ödemark samt Vaskojoki och Lemmenjoki älvdalar. Under åren 1959—60 kombinerades åldersbestämningen med provtagningen av borrhspån och stamsektioner, varvid det insamlade materialet kom att representera hela skogsgränsområdet så som av fig. 1 framgår.

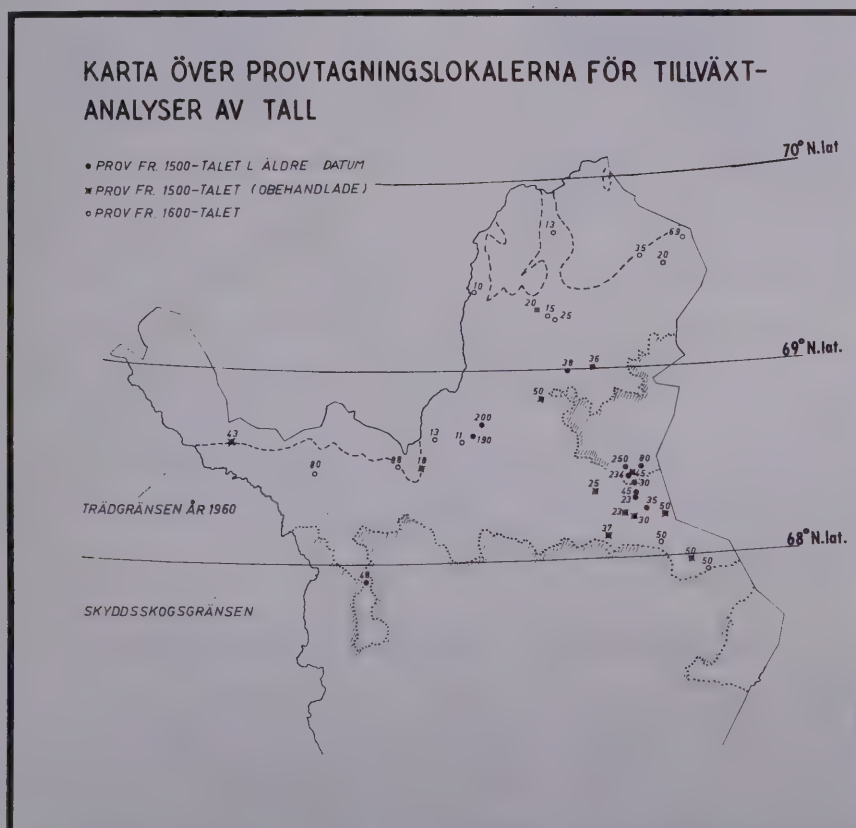


Fig. 1. Karta över provtagningslokalerna; siffrorna anger antalet prov per lokal.

Under åren 1957—58 koncentrerades delutredningen på bestånd yngre än och under åren 1959—60 på trädindivid äldre än 400 år. Med tillhjälp av branddateringar från levande urgamla träd var det även möjligt att datera reproduktionstidpunkten för torrakar och kolstubbar. Nästan samtliga prov har insamlats på ~ likvärdiga ståndorter, företrädesvis torra rislav- och rismoar, vilka av det Cajanderska typschemats förespråkare skulle betecknas med ErClF och EMT.

Bestämningen av reproduktionstidpunkten skedde under de två första materialinsamlingsåren med traditionell provtagningsapparat och fältmikroskop. Omkring 2 200 träd och c. 200 bestånd åldersbestämdes på detta sätt. I regel togs 2—4 spån från samma träd, varvid det bästa spånet utvaldes. Borrspånsmetodiken visade sig emellertid vara förknippad med avsevärda felmöjligheter varför en kontroll av de erhållna reproduktionstidpunkterna befanns nödvändig. Denna kontroll sammankopplades med insamlingen av prov för radialtillväxtens kartläggning. De nya proven från Saariselkäområdet och Lemmenjokidalen visade emellertid att dateringarna av provträd under 300 år varit relativt tillförlitliga; samtliga äldre reproduktionstidpunkter har däremot kunnat fastslås approximativt först efter upprepade laboratiemikroskoperingar av för kartläggning av radialtillväxten insamlade stamsektioner. Denna del av materialet omfattar c. 1 000 provträd. Härutöver åldersbestämdes yttermera c. 1 000 provträd på basen av borrspån, som tagits på brösthöjd. Emedan stamsektionerna i regel togos endast från brösthöjd, var det nödvändigt att bestämma den genomsnittliga tiden mellan trädets födelsepunkt och brösthöjden (H 1.3 m.). Detta skedde dels genom att beräkna åldersskillnaden mellan stubbskär och brösthöjd varvid en mindre approximation var nödvändig för tiden mellan födelsepunkten och stubbskåret. En annan möjlighet erbjöd åldersbestämning av c. 1.3 m. höga plantor. I bägge fallen var spridningen stor (gränsvärdena = 19—68 år); medeltalet höll sig emellertid omkring 35 år. Då åldersbestämningen av över 300 år gamla träd endast i ett fåtal undantagsfall kunde anses fylla rimliga krav på absolut exakthet, ansågs det motiverat att avrunda åldern till närmaste 5- eller 10-tals för ifrågavarande gamla provträds vidkommande. Resultatet av denna delutredning om tallen reproduktionstidpunkter presenteras på s. 26—31.

## *22. Insamlingen av borrspån och stamsektioner*

Av det föregående har det redan i viss mån framgått att materialet för kartläggningen av radialtillväxtens fluktuationer insamlades på lokaler spridda över hela skogsgränsområdet så som framgår av vidstående karta (fig. 1). Det ursprungliga materialet omfattade inalles c. 1 000 stamsektioner och c. 1 000 borrspån. De sistnämnda hade tagits företrädesvis från oskadade



Fig. 2. Borrspånets längd mätes före uttagningen.

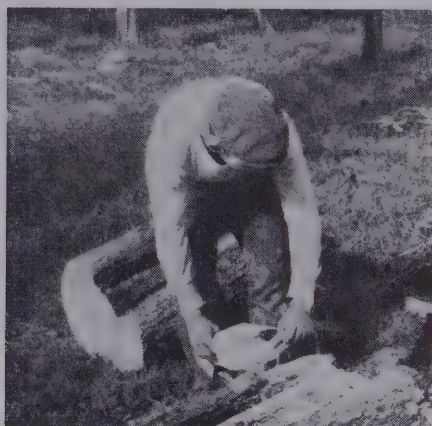


Fig. 4. Stamsektionerna togs på bröst-höjd.

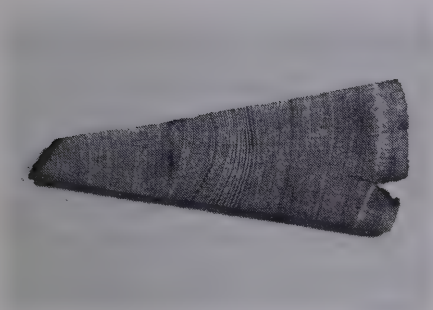


Fig. 3. En årsringsräkning längs provets nedre kant resulterar i 8 år lägre ålder än längs den övre kanten.

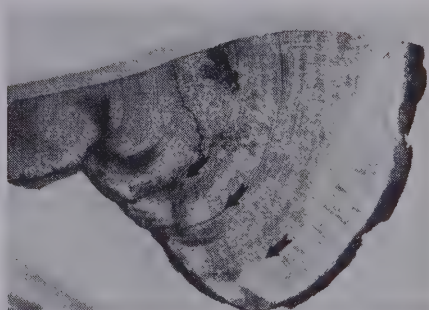


Fig. 5. Stamsektion från en c. 780 år gammal levande tall, som överlevt fyra skogsbränder.

träd av c. 300 års ålder (fig. 2). Borrspånsmetodikens tillämpning på äldre träd måste såsom tidigare antytts överges på grund av okontrollerbara fel-möjligheter. Årsringsbildningen på gamla träd uppvisade nämligen ofta en besynnerlig och oftast oförklarlig oregelbundenhet. Spån från samma träd och samma höjd kunde mellan säkra spårårsringar uppvisa differenser upp-till 10 år (jmf. fig. 3). Dessutom förekom fall där uteblivna årsringar kunde lokaliseras till 3—4 olika tidpunkter<sup>1)</sup>. Dubbelårsringar uppträdde däremot ytterst sällan. Borrspånsmetoden måste av dessa skäl utdömas som mindre tillförlitlig i denna utredning. Undantag har gjorts endast i de fall då års-ringarna varit odisputabelt tydliga. Emedan endast ett fåtal fyllt kraven på entydighet har större delen av spånmaterialen refuserats. Lejonparten av det utnyttjade materialet består fördenskull av friska, eller endast partiellt

<sup>1)</sup> Den av Renvall (1923) nämnda excentriciteten får härigenom en viss förklaring.

röt- eller brandskadade stamsektioner, som uttagits med motorsåg (fig. 4) och senare hyvlats och ytbehandlats. Efter noggranna detaljstudier har den mest representativa och normalvuxna radien valts till mikroskoperingsobjekt. Den äldsta levande tallen hade en ålder över 810 år.

Visavi proven från brandskadade träd bör det framhållas att det ursprungligen var meningen att insamla endast av brand opåverkat material. Denna föresats måste emellertid mycket snart revideras emedan tallbestånd som helt undgått eldens härjningar under mer än 300 års tid nästan kan betraktas som anomalier. Dateringen av bränderna skedde på basen av specialprov (fig. 5).

### 23. Mätning av radialtillväxten

Mätningen av årsringens tjocklek utfördes med en speciellt för ändamålet konstruerad apparat av svensk tillverkning (se Eklund 1949) och metoden inklusive provbehandling var den gängse (jmf. Eklund op. c. s. 10—13). Noggrannheten var 0.01 mm och samtliga data överfördes automatiskt från mikroskopet till räknemaskinen med tillkopplade accessoarer. Från räknemaskinens pappersremsa överfördes samtliga årsringsserier för hand på millimeterpapper för att underlätta den första, okulära kontrollen och jämförelsen med s. k. säkra grundserier från samma insamlingslokal. Förelåg skäl att misstänka uteblivna årsringar kontrollerades ifrågavarande årsringanhopning omedelbart. Av provmaterialet från levande träd har endast c.  $\frac{1}{4}$  undgått all korrigerings. Ungefär hälften av materialet har uppvisat fel på 1—2 år på något ställe mellan garanterat säkra spårårsringar. Den återstående fjärdedelen har varit behäftad med ännu större deficit i antalet årsringar.

Torrakar och kolstubbar har däremot krävt korrigerings endast i undantagsfall, vilket givetvis berott på att avgångsåldern med undantag för en specialgrupp i regel varit låg (200—300 år).

Efter mikroskoperingsskedet grupperades materialet efter ålder inom samma insamlingslokal. Eventuellt spårade skogsbränder daterades för att yttermera säkra konnektionen av kolstubbar och torrakar. I detta skede refuserades de yngsta grupperna så att praktiskt taget hela det tills dato bearbetade materialet härrör från tiden före 1700-talet. Endast några speciellt utvalda kontrollgrupper av yngre datum har sparats för jämförelse med tidigare presenterade årsringsserier (Hustich, Mikola, m. fl.). I detta nu omfattar det mikroskoperade och kontrollmätta materialet inalles 831 årsringsserier fördelade på 22 lokaler och 46 åldersgrupper (jmf. tabell 1). Den äldsta gruppen nådde ned till år 1181 (reproduktionstidpunkt c. 1140—1150).

Tabell 1. Förteckning över insamlingslokalerna och materialet

Insamlingslokal	Grupp	Antal prov	Bearbetning manuell IBM	Antal års- ringar	Födelseår <sup>1)</sup>
1 Koihkalanvaara .....	1 }	43	10	390	1570
» .....	2 }		11	310	1650
2 Sissanki .....	1 }	80	13	350	1610
» .....	2 }		21	310	1650
3 Ruskisrova .....	1 }	48	— 11	430	1530
» .....	2 }		11	390	1570
» .....	3 }		10	330	1630
4 Kalmakaltio .....	1	88	20	300	1660
5 Repokaira .....	1	42	obehandlad		
6 Lemmenjoki .....	1 }	210	11	460	1500
» .....	2 }		12	430	1530
» .....	3 }		20	400	1560
» .....	4 }		30	380	1580
» .....	5 }		obehandlad		
» .....	6 }		obehandlad		
» .....	7 }		obehandlad		
7 Morgammarasto .....	1 }	190	— 12	210	1331
» .....	2 }		— 13	230	1311
» .....	3 }		12	230	1400
8 Jurmurova .....	1	50	14	400	1560
9 Pielpajärvi .....	1	38	25	440	1540
10 Kiellajoki .....	1	30	obehandlad		
11 Utsjoki .....	1	13	obehandlad		
12 Viimassaari .....	1	36	obehandlad		
13 Opukasjärvi .....	1	35	11	270	1690
14 Sevettijärvi .....	1	20	15	320	1640
15 Jääjärvi .....	1	69	obehandlad		
16 Luolavaara .....	1 }	208	— 10	470	1490
» .....	2 }		— 20	430	1530
» .....	3 }		30	400	1560
» .....	4 }		26	360	1600
» .....	5 }		8	440	1360
» .....	6 }		— 9	530	1430
» .....	7 }		— 11	420	1180
17 Metsälappalainen .....	1 }	234	— 11	470	1490
» .....	2 }		— 12	440	1520
» .....	3 }		60	400	1560
» .....	4 }		24	360	1600
» .....	5 }		12	200	1675
18 Riukuselkä .....	1 }	80	— 25	460	1500
» .....	2 }		30	400	1560
19 Suomu .....	1 }	30	10	440	1520
» .....	2 }		9	400	1560
» .....	3 }		12	380	1580
» .....	4 }	28	obehandlad		
20 Kaarnepää .....	1	23	— 11	400	1560
21 Sudenpesä .....	1	45	— 16	460	1500
22 Muorravaarakka .....	1	35	— 28	360	1600
23 Anteri .....	1 }	50	11	400	1560
» .....	2 }		11	360	1600
» .....	3 }		10	310	1650
24 Lupukkapää .....	1	23	20	360	1600
25 Luirojärvi .....	1	30	11	380	1580
26 Rumakuru .....	1	25	11 obeh.	300	1660
27 Immonkammi .....	1	37	9	300	1660
28 Jauri-Siulaaja .....	1 }	50	12	260	1700
» .....	2 }		11	290	1670
29 Venehaaroiva .....	1	50	10 obeh.	270	1690
30 Suopattivaara .....	1	50	10	270	1690

<sup>1)</sup> Till de angivna årtalen bör i medeltal 35 år adderas.

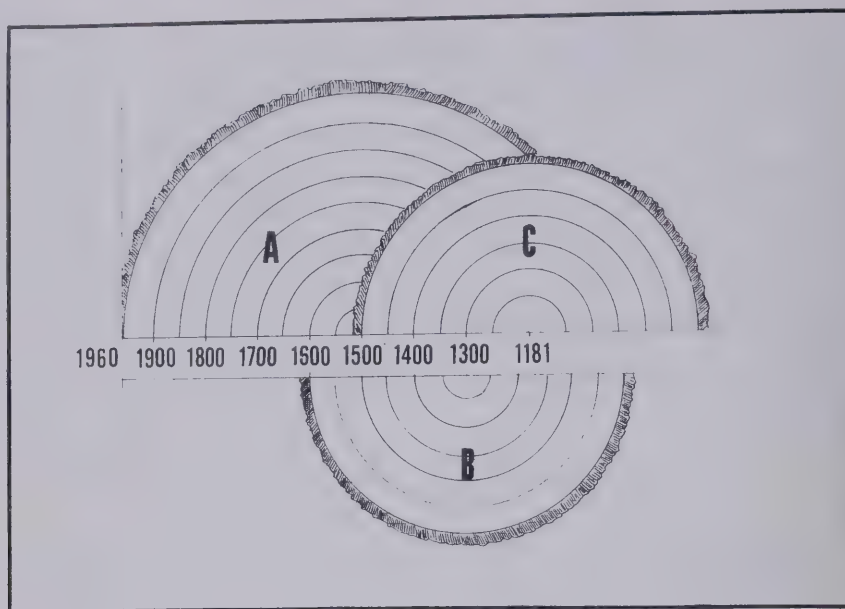


Fig. 6. Konnekteringsförfarandet; A = levande träd, B = torrake, C = kolstubble.

På grund av otillräckliga anslag kunde ej det bearbetade materialet i sin helhet läggas till grund för den statistiska behandlingen. De äldsta grupperna omfattande inalles c. 100 provträd voro givetvis självklara konstituenten, men av det rätt rika materialet från 1500- och 1600-talet kunde endast 8 grupper omfattande c. 150 träd intryckas i denna fas av utredningen. Av ekonomiska skäl och på grund av programmets svårighetsgrad var det emellertid nödvändigt att yttermera reducera materialet för datamaskinbehandlingen till endast 214 provträd inalles. Det slutgiltiga materialets omfång är m. a. o. icke imponerande, men å andra sidan kan det påvisas att dess representativitet är tillfredsställande. Enligt Ordning (1941) är t. o. m. sex prov per grupp tillfyllest för att erhålla tillförlitliga medeltal. Konnekteringen av grupperna framgår i princip av fig. 6.

Så snart de ekonomiska resursserna medger kommer även den övriga delen av materialet att datamaskinbehandlas varvid en utomordentlig möjlighet till objektiv kontroll erhålles.

### 3. Materialets statistiska bearbetning

#### 31. Årsringsseriernas standardisering och konnektering

De erhållna primära årsringsserierna kunde givetvis icke i sitt ursprungliga skick läggas till grund för medeltalsberäkningar i avsikt att belysa de genomsnittliga variationerna i radialtillväxten. Den av trädens fysiska ålder betingade tillväxttenden måste först elimineras för att årsringsbredden skall kunna återspegla klimatfluktuationerna i renodlad form. Härvid har olika tillvägagångssätt kommit till användning (jmf. *Ording* 1941, *Eklund* 1944, *Hustich* 1945, *Mikola* 1950, m.fl.). Den vanligaste funktionen för eliminering av åldersavtagandet har varit av hyperbelkaraktär, varvid en icke ringa del av de innersta årsringarna måste refuseras som störande element. Den stympade årsringsserien har standardiserats genom att för vart kalenderår införa årsringsindex som en relation mellan den observerade och utjämnade årsringsbredden.

I här föreliggande fall ansågs emellertid uttryckligen den innersta delen av stamsektionen vara av alldeles speciell betydelse. Dels representerade de innersta årsringarna den äldsta delen av trädet, vilken ur konnektionsynpunkt (jmf. s. 18) var speciellt viktig, och dels uppvisade de grafiskt återgivna tillväxtkurvorna så varierande mönster att en gemensam hyperbelfunktion hade medfört större våld än vad strävan till exakthet i detaljerna kunde tillåta. I akt och mening att utnyttja de äldsta (= de innersta) delarna av borrhålen och stamsektioner baserades standardiseringen på en funktion av typen

$$y = a \cdot t^b \cdot e^{-ct}, \quad (1)$$

där  $y$  = årsringsbredden,

$t$  = åldern ( $t_1 = 35$  år emedan provtagningshöjden = 1.3 m),

$\left. \begin{matrix} a \\ b \\ c \end{matrix} \right\}$  parametrar med positiva förtecken.

Materialet förutsätter en kurva med två inflexionspunkter och ett mellanliggande maximum; detta krav bestämmer parametrarnas tecken. Kurvans form betingas närmast av värdena på  $a$  och  $b$  samt kvoten  $b : c$ , som anger maximets läge. Parametern  $a$  bestämmer tillsammans med  $b$  och  $c$  maximipunktens höjd medan inflexionspunkternas läge fixeras av uttrycket

$$t = \frac{b \pm \sqrt{b}}{c}.$$

De för varje enskild årsringsserie varierande värdena för parametrarna  $a$ ,  $b$  och  $c$  möjliggjorde en anpassning till empiriska kurvor av mycket varierande karaktär. Efter det parametrarna bestämts kunde kurvan standardiseras genom att den observerade årsringsbredden uttrycktes i procent av det utjämnade värdet. De på detta sätt normerade årsringsserierna sammanfördes härefter lokal- och åldersgruppvis för medeltalsberäkning. Som minsta antal primärserier per grupp accepterades 10 serier (jmr. *O r d i n g* 1941, s. 152). Förutom de årsvisa medeltalen beräknades även dispersionen och medeltalens medelfel. Dessa räkneoperationer utfördes med en datamaskin av typ IBM 1620.

Efter det de lokal- och gruppvisa medeltalsserierna beräknats konnekterades årsringsindexserierna till en enda *g r u n d s e r i e* (fig. 7) omfattande tiden från 1181 till 1960.

Detta material finns uppbevarat på Skogsforskningsanstalten i Helsingfors och står till förfogande för intresserade dendrokronologer.

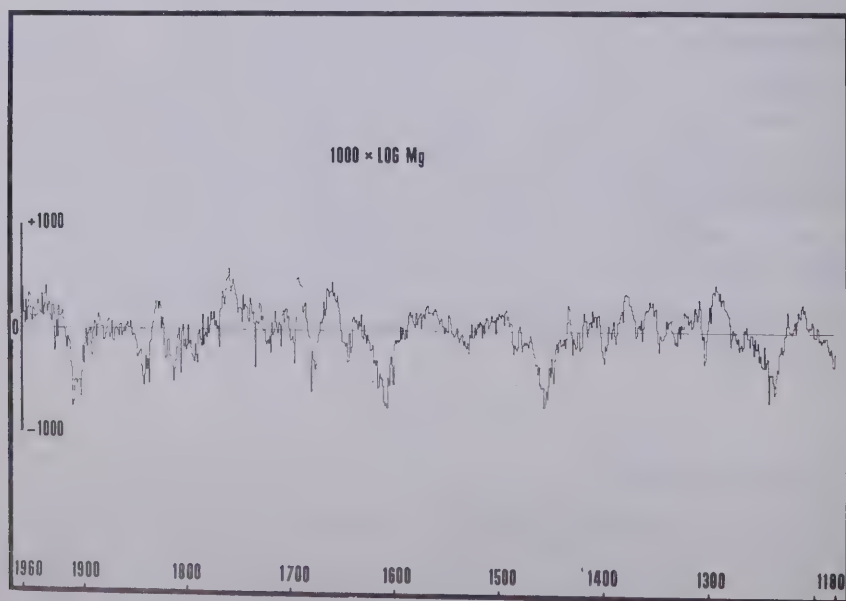


Fig 7. Grundserien erhöles genom att beräkna medeltalet för respektive års indexvärde uttryckt i formen  $\log M_g$ .

32. Serialanalysens teori

Vid en granskning av den ovan beräknade grundseriens allmänna karaktär är det lätt konstaterat att serien oscillerar stationärt kring en medeltalslinje, samtidigt som en antydning till regelbundenhet i stora drag kan skönjas. För att avgöra vilket eller vilka slag av oscillation det är fråga om, kan seriens karaktär analyseras genom att undersöka dess seriala korrelation. Denna definieras (jmf. Kendall 1955, s. 402) genom formeln

$$r_k = \frac{\text{COV}(u_j, u_{j+k})}{\sqrt{\text{var}(u_j) \text{var}(u_{j+k})}} \quad (k = 1, 2, \dots)$$

(2)

och utgör sålunda korrelationen mellan två godtyckliga termer på tidsavståndet  $k$  från varandra. Då tidsserien är stationär, är de seriala korrelationerna oberoende av den absoluta tidpunkten, alltså av indexet  $j$  i formeln (2). — Det bör påpekas att  $r_k$  i princip hänför sig till den tänkta oändliga population av tidsserier ur vilka den föreliggande är att betrakta som ett sampel. I praktiken beräknas (eller riktigare, estimeras)  $r_k$  såsom empirisk korrelationskoefficient för serierna

$$u_1, \dots, u_{n-k}; u_{k+1}, \dots, u_n,$$

där  $n$  är antalet observationer i grundserien.

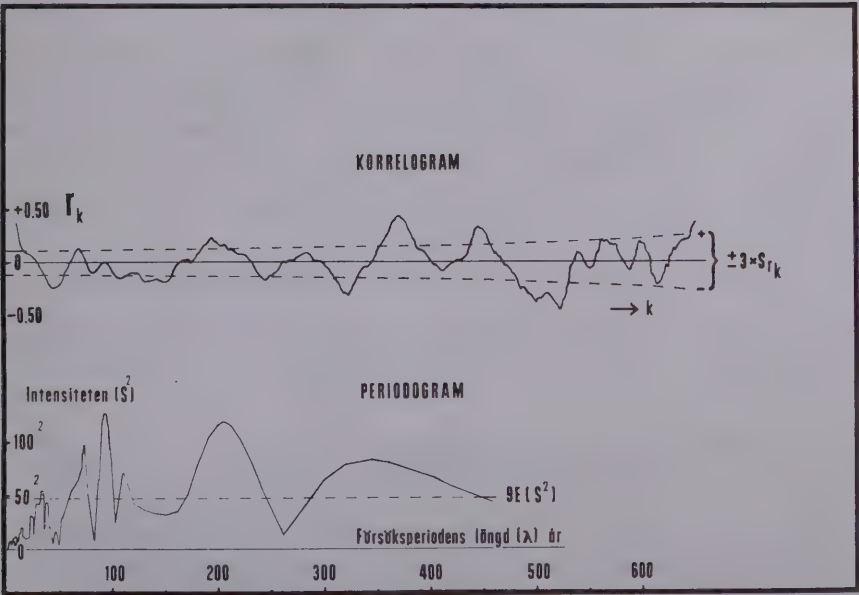


Fig. 8 a. Korrelogrammet jämta signifikansgränserna  $\pm 3 s_{r_k}$ .

Fig. 8 b. Periodogrammet jämta konfidensnivån  $9 E (S^2)$ .

De erhållna värdena för  $r_k$  återges i fig. 8a, där  $k$  är argument och  $r_k$  funktion. Korrelationskoefficienten  $r_k$ 's standardavvikelse är approximativt

$$s_{r_k} = \frac{1}{\sqrt{n-k}}. \quad (3)$$

Med tillhjälp av denna formel kan de erhållna korrelationskoefficienternas signifikans testas. Av fig. 8a framgår även signifikansgränserna, som satts relativt högt, nämligen till  $\pm 3 s_{r_k}$ . Trots denna höga konfidensnivå visar fig. 8a att ett stort antal koefficienter ligger klart utanför signifikansgränserna. Dessamma var fallet med de korrelogram, som i kontrollsyfte beräknades på basen av tidsperioder av 5, 10 och 15 års längd i stället för ovan använda 1 år.

Enligt K e n d a l l (op. c. s. 404—408) kan man på basen av korrelogrammets struktur särskilja mellan följande slag av oscillatoriska serier:

- a) serier bestående av glidande medeltal av slumpmässiga element; korrelogrammet kännetecknas i detta fall av en avtagande oscillation, som upphör helt efter ett visst värde på  $k$ ,
- b) serier bestående av harmoniska termer med eller utan en slumpmässig residualoscillation; korrelogrammet oscillerar utan att undulationen dämpas eller upphör vid växande värden för  $k$ ,
- c) serier av autoregressiv karaktär, varvid korrelogrammet oscillerar och dämpas vid växande  $k$  utan att helt upphöra.

De anförda kategorierna är att betrakta som renodlade typfall; även blandningar av dem kan förekomma.

Det i fig. 8a föreliggande korrelogrammet förefaller att passa in på fall b, men inte på något av de andra alternativen. Härmed är dock icke definitivt uteslutet att grundserien eventuellt kunde vara partiellt autoregressiv till sin karaktär. Denna möjlighet måste m.a.o. allt fortfarande beaktas (jmf. K e n d a l l op.c. s. 408, p. 30.21—30.24).

I det följande antages att grundserien åtminstone delvis består av harmoniska element enligt ovananförda fall b.

Förefintligheten av harmoniska element i en tidsserie innebär i praktiken periodicitet. Perioderna behöver likväl icke nödvändigtvis utgöra multipler av en fundamental basperiod. Grundseriens cykliska del kan uttryckas i formeln

$$f(t) = A_1 \cos \left( \frac{2\pi t}{\lambda_1} + \alpha_1 \right) + A_2 \cos \left( \frac{2\pi t}{\lambda_2} + \alpha_2 \right) + \cdots + A_n \cos \left( \frac{2\pi t}{\lambda_n} + \alpha_n \right), \quad (4)$$

där  $t$  = tiden uttryckt i år

$A$  = vågrörelsens amplitud för vederbörande komponent

$\lambda$  = våglängden (= periodens längd). » »

$\alpha$  = fasvinkeln för cosinuskurvan » »

Enligt ett förfarande, som K e n d a l l beskrivit närmare (op. c. s. 424—425), gäller det i första hand att finna de värden på  $\lambda$ , som bäst harmonierar med den observerade serien, och därefter bestämma  $A$  och  $\alpha$ . Detta sker på empirisk väg genom att metodiskt pröva hypotetiska perioder av växande längd. Då den s. k. intensiteten  $S^2$ , vilken beräknas enligt formlerna (K e n d a l l op. c. s. 424)

$$S^2 = B^2 + C^2; \quad (5)$$

$$B = \frac{2}{n} \sum_{j=1}^n u_j \cos \frac{2\pi j}{\mu};$$

$$C = \frac{2}{n} \sum_{j=1}^n u_j \sin \frac{2\pi j}{\mu},$$

plötsligt visar kraftigare utslag än för omgivande  $\lambda$ -värden kan detta anses indicera en sannolik periodicitet. Genom att införa de erhållna intensitetsvärdena som ordinator och motsvarande perioder som abskissor erhålles ett s. k. periodogram (jmf. fig. 8b). Både korrelogram och periodogram har beräknats på basen av tidsenheter 1, 5, 10 och 15 år; i de tre sistnämnda fallen var det sålunda den sammanlagda tillväxten under respektive 5, 10 och 15 års perioder som utgjorde analysens underlag.

Av olika orsaker kan icke alla i periodogrammet förekommande toppar utnyttjas. För att utreda vilka  $\lambda$ -värden som är värda att beaktas vid uppställandet av den harmoniska approximationen för tidsserien måste periodogrammet testas. Härvid jämföres intensiteten  $S^2$  med sitt väntevärde (se nedan) och avvikelens signifikans bedömes med stöd av formeln

$$P [S^2 > k \cdot E(S^2)] = e^{-k}. \quad (6)$$

Denna formel (S c h u s t e r 1898) anger sannolikheten för att intensiteten  $S^2$  skall överskrida sitt  $k$ -faldiga väntevärde om en slumpfallsserie — alltså ingen verklig periodicitet — föreligger. Då  $k = 9$ , är ovan anförda sannolikhet lika med  $1.23 \cdot 10^{-4}$ . Den kritik Å n g s t r ö m (1941) framfört gentemot detta testförfarande synes E r i k s s o n (1942) ej ha kunnat omfatta.

För beräkning av intensitetens väntevärde anför K e n d a l l (op. c. s. 434) formeln

$$E(S^2) = \frac{4\sigma^2}{n}, \quad (7)$$

där  $\sigma$  = originalseriens spridning,

$n$  = antalet observationer.

Originalseriens dispersion kan estimeras medelst den vanliga dispersionformeln, varvid erhålles  $\sigma = 222.1$ . Signifikansnivån 9  $E(S^2)$  kan i detta fall

Tabell 2: De mot periodogrammet högst toppar svarande periodlängderna ( $\lambda$ ), amplituderna ( $S$ ) och fasvinklarna ( $\alpha$ ).

Topparna	$\lambda$ , år	$S$	$\alpha$
I P .....	33	53.8	— 42° 41'
II P .....	73	97.6	+ 263° 45'
III P .....	93	128.5	— 52° 4'
IV P .....	111	72.7	+ 29° 26'
V P .....	204	119.1	— 22° 32'
VI P .....	342	83.0	+ 78° 30'

enligt (7) beräknas till  $(47.7)^2$  (jmf. fig. 8b). Periodogrammet visar att inalles sex toppar överstiger signifikansgränsen. Man kan alltså med viss säkerhet antaga att intensiteterna ifråga indicerar exogena periodiciteter (jmf. även Eriksson 1942, s. 2—3).

Sedan de relevanta  $\lambda$ - och  $S$ -värdena ( $\lambda_I \cdots \lambda_{VI}$ ) och ( $S_I \cdots S_{VI}$ ) bestämts (jmf. tabell 2, se ovan) beräknas originalseriens medelamplitud enligt formeln

$$a_m = \frac{\sum_{i=1}^n |y_i|}{n}. \quad (8)$$

Denna amplitud är enligt det antagande som tidigare gjorts uppbyggd av tvenne komponenter; den ovan undersökta emanerar från en cyklisk oscillation och resten är av operiodiskt ursprung. Efter det både  $a_m^2$  och summan  $a_p^2$  av samtliga  $S_j^2$  bestämts, subtraheras den senare från  $a_m^2$ , varvid residualen erhålles enligt formeln:

$$\begin{aligned} a_r^2 &= a_m^2 - \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n S_j^2 \\ &= a_m^2 \left( 1 - \frac{\frac{1}{2} \sum S_j^2}{a_m^2} \right). \end{aligned} \quad (9)$$

Här utgör  $a_r$  medelamplituden för det operiodiska inslaget i grundserien. Om vi betecknar

$$\frac{\frac{1}{2} \sum S_j^2}{a_m^2} = D^2, \quad (10)$$

anger  $D$  de periodiska komponenternas relativa andel i totalvariationen. För den händelse att man önskar uttrycka förhållandet mellan de periodiska och icke-periodiska komponenterna kan detta ske medelst formeln

$$\frac{a_p}{a_r} = \sqrt{\frac{D^2}{1-D^2}}. \quad (11)$$

Enligt (8) erhöles för  $a_m$  värdet 170.3. Förhållandet mellan de periodiska och operiodiska komponenterna i grundserien, beräknade enligt (10) och (11),

Tabell 3. Alternativa kombinationer av olika serier jämte resp. periodiska komponenters relativa andel och förhållandet  $\alpha_p:\alpha_r$ .

Alternativ nr	$S_j$ kombinationer	$D^2$	$\frac{\alpha_p}{\alpha_r}$
1	$S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6 \dots\dots$	0.949	4.33
2	$S_2, S_3, S_4, S_5, S_6 \dots\dots\dots$	0.900	2.99
3	$S_2, S_3, S_5, S_6 \dots\dots\dots\dots$	0.811	2.07
4	$S_2, S_3, S_5 \dots\dots\dots\dots\dots$	0.693	1.50
5	$S_3, S_5 \dots\dots\dots\dots\dots\dots$	0.529	1.06
6	$S_3 \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots$	0.284	0.63

framgår av tabell 3, se ovan, där olika alternativ prövas sålunda att från den totala periodiska variationen i tur och ordning subtraheras variationen för den period som har den lägsta intensiteten  $S^2$ .

Av de olika kombinationerna har för uppställandet av den teoretiska indexserien utvalts alternativen 1 och 4, d. v. s., den serie som omfattar samtliga signifikanta perioder samt en serie bestående av de tre markantaste perioderna. Beräkningen av de för den grafiska framställningen nödvändiga storheterna har skett enligt K e n d a l l.

Emedan starka skäl förelåg att antaga att radialtillväxtens oscillation delvis är av autoregressiv art, utfördes även några analyser för att utreda den eventuella förekomsten av endogen regelbundenhet. Det förtjänar i detta sammanhang nämnas att t. ex. H e s s e l m a n (1904), L a i t a k a r i (1920), H u s t i c h—E l f v i n g (1944), m. fl. har funnit att ett visst års tillväxt och tillväxtbetingelser delvis bestämmer följande års tillväxtmönster. Denna företeelse är typiskt autoregressiv. Emedan tallens barrskrud helt förnyas inom 3—11 år är det teoretiskt tänkbart att även denna omständighet medför autoregressiva konsekvenser. Uttryckt i populära termer innebär autoregressionen att varje observation kan uttryckas som en lineär funktion av de närmast föregående observationerna plus en tillkommande exogen term.

I här föreliggande fall utfördes analysen dels enligt K e n d a l l s metodik (op. c. s. 420—423) och dels enligt en formel, som prof. G. E l f v i n g utarbetat.

En viss autoregression på kort sikt kunde utan tvekan konstateras; det rörde sig här tydligen om en biologiskt betingad efterverkan omspännande några få år. Det torde härvidlag vara fråga om den effekt H u s t i c h—E l f v i n g kallar »Nachwirkung» eller »lag-effect», eftersläpning. Försöken att förklara långtidsrytmiken på basen av ett autoregressionsschema har t. v. icke lett till resultat; det är dock förf:s avsikt att fortsätta undersökningen även på denna linje, och bl. a. pröva den av G r e n a n d e r & R o s e n b l a t t (1957) utvecklade metodiken.

#### 4. Undersökningens huvudresultat

I inledningen till denna utredning preciserades målsättningen i tre punkter. Av dessa kan måhända den först nämnda, d. v. s. kartläggningen av skogsgränstillens reproduktionstidpunkter under tidigare sekler, förefalla vara av perifer natur i detta sammanhang. Så är emellertid icke fallet, ty beröringspunkterna med utredningens huvudtema är både många och betydelsefulla. Tallens reproduktion i skogsgränsområdet är nämligen en i mycket hög grad klimat- och enkannerligen temperaturbetingad livsyttning.

##### *41. Reproduktionsperioderna under tiden 1150—1960*

Då frågan om skogsträdens naturliga förnyelse ventileras är det skäl att göra en klar distinktion mellan reproduktionsbetingelser och faktisk reproduktion. De förra, d. v. s. reproduktionsvillkoren, reglerar det senare händelseförloppet både vad tidpunkt, kvalitet och kvantitet beträffar. Utebliven eller på ett eller annat sätt eliminerad reproduktion behöver emellertid icke alltid utgöra ett indicium på ogynnsamma yttre premisser; plantuppslag som uppkommit under goda klimatiska betingelser kan t. ex. utraderas av en häftig markbrand.

För att i någon mån avskärma de mindre väsentliga kausalsambanden skall de i och för sig viktiga biologiska villkoren lämnas utanför diskussionen trots att många av dem onekligen är förbundna med klimatet på ett eller annat sätt. Huvuduppmärksamheten skall m. a. o. koncentreras på de abiotiska villkor, som uppe i skogsgränszonen i högre grad än annorstädes inverkar som reproduktionsregulatorer. Härvidlag kan i första hand de klimatiska och edafiska betingelserna vara värda ett närmare studium.

Det är känt att blomning, pollination, fröbildning och frömognad kräver ett visst optimalt klimat för att respektive reproduktionsfaser skall nå fullgången utveckling. Av de ifrågakommande lokala klimatelementen utgör temperaturen under sommarmånaderna den faktor som oftast begränsar reproduktionen i alla dess stadier allt från bildandet av blomknoppar ända fram till frömognaden. I detta nu torde det vara definitivt klarlagt att en medeltemperatur över  $+11.5^{\circ}\text{C}$  under sommarmånaderna i förening med en

god näringsbilans är nödvändig för att fullständig frömognad överhuvudtaget skall vara möjlig; partiell frömognad inträffar däremot redan vid en medeltemperatur av omkring  $+10.5^{\circ}\text{C}$  eller vid en växtenhetssumma omkring 310 (M o r k 1957). På denna punkt har visserligen under de senaste åren många värdefulla distinktioner tillkommit (jmf. t. ex. H u s t i c h 1948, S a r v a s 1950, N o r d s t ö m 1953, M o r k 1957), men i stort sett kan den gamla redan av H a g e m (1917), H e i k i n h e i m o (1921), K u j a l a (1927) och E i d e (1932) uppställda grundregeln anses vara riktig. Alltnog kan man på hållbara grunder utgå från att ett s. k. partiellt fröår bör föregås av minst tre temperaturmässigt gynnsamma vegetationsperioder ( $T_m > +10.5^{\circ}\text{C}$ ) av vilka den andra i ordningen yttermera bör karakteriseras av soligt väder och fördelaktiga vindförhållanden under pollinations-tiden.

Med utgångspunkt från dessa allmängiltiga förutsättningar kan frånvaron av en viss eller vissa åldersklasser på ett mycket stort skogsområde (t. ex. 1 000 km<sup>2</sup>) tolkas alternativt på följande sätt:

1. klimatiska reproduktionsbetingelser har realiter icke förelegat vid de ifrågavarande tidpunkterna,
2. en reell och effektiv frösättning har ej resulterat i plantuppslag på grund av t. ex. beståndshistoriskt och/eller vegetationsdynamiskt betingade förnyelsehinder,
3. en i plantuppslag resulterad reproduktion har utraderats av kalamiteter; av de alternativ, som i praktiken härvidlag kommer i fråga kan — förutom ytterst extrema klimatdepressioner — endast elden anses som tillräckligt effektiv som totalförhärjande medium.

Frånvaron av en åldersklass behöver alltså icke definitivt betyda att klimatet varit otjänligt för frösättning och frömognad. Förekomsten av många tätt på varandra följande åldersklasser indicerar däremot ovedersägligen gynnsamt sommarklimat med ofta förekommande medeltemperaturer över minst  $+10.5^{\circ}\text{C}$ , ev. över  $+11.5^{\circ}\text{C}$ .

Den andra gruppen betydelsefulla reproduktionsvillkor omfattar förnyelsebetingelserna på och i marken. I detta avseende är förutsättningarna för kartläggning i efterhand begränsade. Utgående ifrån att tallens skogssamhällen under de ifrågakommande seklerna uppvisat samma utvecklingsmönster som motsvarande samhällen av i dag kan emellertid huvuddragen av de skogsdynamiska händelseförloppen uppskisseras. I så fall kan det konstateras att markens tillstånd i likhet med den aktuella situationen i många fall i dagens situation utgjort det utslagsgivande förnyelsehindret i de skogsgränssamhällen, där tallen är dominant. Vegetationens fält- och botenskikt är med undantag för de svagaste boniteterna av sådan kompakt-

hetsgrad att dessas förnyelsehindrande verkan blir aktuell så snart trädbeståndet når full slutenhet (jmf. Sirén 1958). Dylika mossrika bestånd hör ej heller till sällsyntheterna i skogsgränzonen. Betydelsen av det förnyelsehinder mosstäcket utgör är emellertid lokalt och torde i större sammanhang kunna ifrågasättas. Skogsgränsområdet uppvisar nämligen en mycket mosaikartad bestånds- och åldersstruktur, varav följer att tillfälle till plantsättning med stor sannolikhet torde alltid ha förelegat på någon lokal inom de vidsträckta områden här avses.

Situationen är något annorlunda i de delar av skogsgränsområdet som domineras av skogsbrandbetingade björkskogar. Här kan t. ex. avståndet mellan enstaka tallar vara så stort, att endast befruktning med pollen från samma träd är möjlig med tyåtföljande undermålig frösättning. Då groning och stabilisering i björkbeståndens ofta mossdominerade grundsamhällen är betydligt vanskeligare än i de regel lavdominerade tallskogarna, medför ovannämnda omständigheter ytterligare komplikationer.

En alldeles speciell roll i skogsgränsskogarnas dynamik har elden spelat. Dess förnyelsebefrämjande effekt är känd sedan gammalt, men ingensstädes torde dess motsatsfulla verkan komma så tydligt i dagen som just i skogsgränstrakterna (jmf. Renvall 1913, s. 137—148). Det finns talrika exempel på vida sandmoar, som förlorat sitt plantbestånd — i enstaka fall t. o. m. hela det organiska marktäcket — till följd av alltför våldsam eldverkan på vegetation och humusskikt. Elden förbättrar dock i regel t. ex. förnyelsebetingelserna under gamla tallbestånd. Vid tallens yttersta trädgräns representeras emellertid det ojämförligt vanligaste fallet av vidsträckta björkskogar på brännorna; där har elden ingripit i trädslagsdynamiken i en för tallen temporärt ogynnsam riktning. Hur ofta uppväxande plantskogar förstörts kan svårligen utredas i efterhand, men det torde i varje fall stå över allt tvivel att vid en kartläggning av reproduktionstidpunkterna över ett större område kan skogseldar ha utplånat varje spår av ett eller flera fröar som inträffat före, efter eller t. o. m. mellan de kvarstående beståndsskiktens födelseår.

Förutom de vanskligheter som alltid vidlåder åldersbestämningar av skogsträd och kartläggning av reproduktionstidpunkter (se t. ex. Lakar 1915, Renvall 1923 och Hustich 1948a) bör alltså även ovananförda synpunkter beaktas vid bedömningen av dateringsresultaten.

I denna utredning kartlades reproduktionstidpunkterna såsom tidigare redan framhållits dels genom specialstudier ute i terrängen och dels genom åldersbestämningar av hemförda prov. Vardera metoden har sina svagheter (jfr. Renvall 1912, ss. 137—141), varför noggrannheten för träd äldre än 300 år är av storleksordningen 5—10 år. Av de c. 1 000 stamsektioner och c. 1 000 borrhåll som hemfördes för mikroskopering har 831 trädindivid av över 300 års ålder kunnat dateras; de övriga har refuserats eller tillsvidare

lagts i reserv. Emedan materialet insamlats vid olika tidpunkter och på olika sätt kan det vara av intresse att jämföra de erhållna — till år 1960 transponerade — resultaten sinsemellan och med tidigare rön.

Av tabell 4 (s. 30) framgår att överensstämmelsen i konnektionszonen (år 1580—1660) mellan de bägge materialen (från år 1957—58 och 1959—60) är relativt god. För att få en klarare överblick av den faktiska förnyelsen under de olika seklerna har längden av reproduktionsperioderna sammanräknats sekelvis. Resultatet är följande:

1200-	1300-	1400-	1500-	1600-	1700-	1800-	1900-talet
Sammanlagd reproduktionstid, år							
30	40	25	35	25	35	20	(~30)

Av ovanstående data framgår något överraskande att de jämna seklen uppvisar i genomsnitt sämre reproduktion än de udda. En detaljgranskning av primärmaterialet visar yttermera, att längre intervall mellan förnyelse-åren förekommit främst under 1200-, 1400- och 1600-talen. Ställes ovan anförda siffror i relation till minimitemperaturen för fullständig frömognad (+11.5°C) föreligger skäl att antaga att t. ex. 1300- och 1500-talet karakteriserats av hög sommartemperatur uppe i skogsgränsregionen. Denna iakttagelse korresponderar för övrigt väl med förekomsten av daterade skogsbränder.

Under tiden 1140—1960, alltså c. 820 år, har inalles cirka 30 minst nöjaktiga fröår förekommit, d. v. s. i genomsnitt ungefär 3—4 gånger per sekel. Resultatet avviker i någon mån från den uppfattning man hittills haft om reproduktionsintensiteten i skogsgränsområdet. Å andra sidan bör det poängteras, att Renvall redan 1912 fann fröårsintervallerna i området

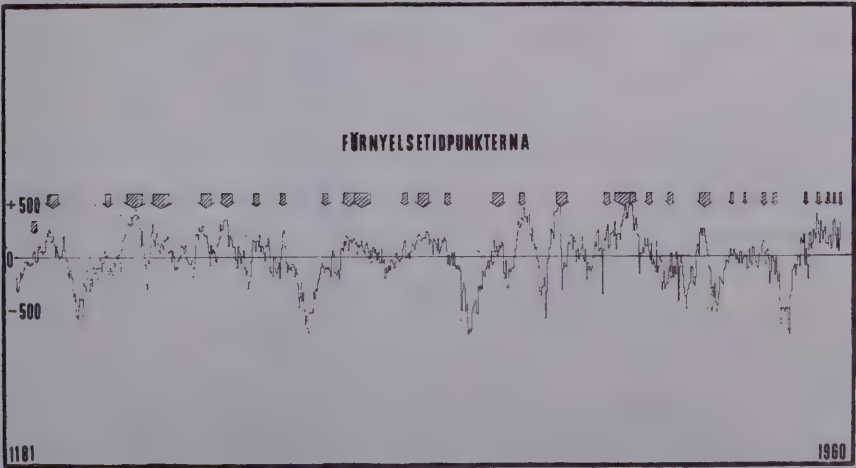


Fig. 9. Förnysetidpunkternas förhållande till grundseriens maxima.

strax under själva skogsgränsen vara av samma längd som i det övriga Lappland.

Då de erhållna reproduktionstidpunkterna ställs i relation till årsrings-indexserierna såsom t. ex. Hustich (1948), Mikola (1952) och förf. (1958, 1960) tidigare gjort framgår ett intressant samband (fig. 9, s. 29).

Varje effektiv förnyelseperiod visar sig ha inträffat vid eller efter maximum av tidsavsnitt då radialtillväxten överskridit sitt medelvärde. Omvänt innebär detta att radialtillväxten varit bättre än normalt då luftens medeltemperatur överskridit  $+11.5^{\circ}\text{C}$ .

Tabell 4. Förteckning över reproduktionstidpunkter bestämda på basen av A. åldersbestämningar ute i terrängen och B. mikroskoperade prov

A		B	
Beståndets ålder (år 1960)	Reproduktions- tidpunkt	Reproduktions- tidpunkt	Trädens ålder (år 1960)
0—1	1959—60 ***		
6—9	1951—54 *		
13—14	1946—47 ***		
21—23	1937—39 ***		
33—34	1926—27 ***		
39—40	1920—21 **		
(62—66)	(1894—98) <sup>1</sup>		
72—76	1884—88 **		
82—83	1877—78 **		
103—105	1855—57 ***		
130—135	1825—35 ***		
(160—165)	(1795—1800) <sup>1</sup>		
180—185	1775—80 ***		
195—215	1745—65 ***		
220—225	1735—40 **		
260—270	1690—1700 ***		
300	1660 ***	1655—60 ***	300—305
330	1630 ***	1630—40 ***	320—330
360	1590	1585—90 ***	370—375
		1560—70 ***	390—400
		1545—50 **	410—415
		1500—15 ***	445—460
		1490—1500 ***	460—470
		1475—80 *	480—485
		1430—35 ***	525—530
		1405—10 **	550—555
		1375—85 **	575—585
		1355—65 ***	595—605
		1320—25 *	635—640
		1310—25 ***	635—650
		1285—1300 ***	660—675
		1265—70 *	690—695
		1200—10 ***	750—760
		1190—1200 *	760—780
		1140—50 **	810—820

\*\*\* = rikligt representerad

\*\* = nöjaktigt representerad

\* = svagt representerad

( ) <sup>1</sup> förekommer endast sporadiskt i älvdalarna kring Suomujoki, Lemmenjoki och Vaskojoki samt i Repokaira ödemark och i närheten av Vuotso.

Denna grundregel för skogsgränstallens reproduktionsvillkor har H u s t i c h tidigare illustrerat på ett utomordentligt sätt (H u s t i c h 1956a, s. 12, fig. 3).

Det faktum att fröproduktionen inverkar decimerande på tillväxten (jmf. H u s t i c h 1948, s. 64—71 och M o r k 1957, s. 369) ökar yttermera indicierna för att ett gynnsamt temperaturklimat rått under de resultatrikaste förnyelseperioderna.

Inventeringen av reproduktionstidpunkterna synes ha lett till resultat, vilka kan anses tyda på följande för skogsgränstallen betydelsefulla omständigheter:

1. de klimatiska betingelserna har möjliggjort reproduktion i genomsnitt åtminstone 3—4 gånger per århundrade,
2. de reproduktionsstörande eller utraderande kalamiteterna har av allt att döma haft endast lokal karaktär — med undantag för den yttersta skogsgränsen där isynnerhet eldens inverkan varit katastrofal,
3. klimatet har av reproduktionsperiodernas frekvens att döma varit gynnsammast under de udda århundradena. Detta faktum skulle m. a. o. kunna tyda på förefintligheten av en c. 200-årig climatecykel.

#### *42. Sambandet mellan klimat och tillväxt*

I inledningen till denna utredning anfördes ett antal faktorer, som kunde tänkas försvåra beräkningen av den matematiskt uttryckbara korrelationen mellan klimatfaktorerna och trädens radialtillväxt. Den utförda inventeringen av dessa faktorer utgör å andra sidan en betydlig t i l l g å n g; i och med att en svårighet är lokaliserad föreligger även möjligheter att eliminera densamma. För att icke onödigtvis upprepa biologiska kardinalfakta kan skogsgränsträdens tillväxt anses utgöra resultanten av samtliga ståndortsfaktorer, av vilka de klimatiska, enkannerligen temperaturklimatiska, är av speciell betydelse vid de icke edafiskt betingade skogsgränserna i norra Fennoskandien. H u s t i c h har som tidigare nämnts dissekerat en del av dessa kvalitativt kända men kvantitativt tämligen konturlösa termer.

På grunder som också tidigare antytts kan yttermera en s. k. eftersläpningseffekt särskiljas. Dess ursprung kan härledas ur:

- a) trädens allmänna kondition och hälsotillstånd,
- b) blomningens och/eller frösättningsens tillväxtnedsättande effekt på lång sikt,
- c) klimatfluktuationerna inverkan på det fysiologiska samspelet mellan näringsupptagningsorganen och det edafiska underlaget.

Till sin karaktär är resultanten av dessa faktorer typiskt autoregressiv.

Ovannämnda fenomen är emellertid samtliga av sekundär betydelse. På basen av ett stort antal utredningar (jmfr. H u s t i c h 1941, 1945 och M i k o l a 1950, s. 66—71) kan man nämligen antaga att ståndortens temperatur utgör den p r i m ä r a faktorn i den subarktiska s k o g s g r ä n s z o n e n. Temperaturens ekologiska effekt förtjänar m. a. o. ett närmare studium.

Den moderna växtfysiologin och ekologin har presenterat ett stort antal studier över temperaturen som tillväxtfaktor, (jmfr. t. ex. L u n d e g å r d h 1950, P o l s t e r 1950, S t å l f e l t 1960 och F r i t t s 1961). Det gemensamma för de uppnådda undersökningsresultaten kan sammanfattas i följande:

Såvitt temperaturfaktorns fysiologiska effekt kunnat renodlas har det framgått att tillväxten begynner vid en för olika växter varierande minimumtemperatur; efter kontinuerlig ökning nås vid en viss temperatur ett tillväxtmaximum, varefter tillväxten för de flesta högre växters vidkommande nedgår relativt snabbt vid kontinuerligt ökande temperatur för att vid ett visst temperaturmaximum helt upphöra.

Temperaturens ekologiska effekt framgår i princip av formel (12). För skogsträdens vidkommande har bl. a. M o r k (1941, 1957), P o l s t e r (1950) och F r i t t s (1961) under de senaste åren kartlagt sambandet mellan trädens ekologiska förutsättningar och därav betingade fysiologiska skeenden.

Sambandet mellan trädens tillväxt och luftens temperatur i skogsgränsområdet har enligt empiriska rön manifesterat sig i att tillväxten ( $y$ ) är en funktion av temperaturen ( $t$ ) av formen

$$y = a (t - T_1)^p (T_2 - t)^q, \quad (12)$$

där  $T_1, T_2$  = fysiologisk min. resp. max. temperatur

$t$  = observerad temp.

$\left. \begin{matrix} a \\ p \\ q \end{matrix} \right\}$  konstanter.

Endast vid små temperaturförskjutningar i den lägre delen av registret är sambandet mellan temperatur och tillväxt i det närmaste lineärt. Mellan t. ex.  $+5^\circ$ — $+18^\circ\text{C}$  är kurvans avvikelser från den rätta linjen relativt obetydlig (se fig. 10); i detta avseende är likheten mellan förf:s och M o r k s empiriska kurva för höjdtillväxtens beroende av temperaturen frapperande. De enda väsentliga olikheterna inom temperaturområdet  $+5^\circ$ — $+18^\circ\text{C}$  består i något högre tillväxtaktivitet vid vardera gränsvärdet hos M o r k, vilket givetvis bevisar att funktionen icke kan exakt återges medelst en rät linje, utan förhåller sig till temperaturökningen såsom av fysiologiska optimum-

kurvor i allmänhet framgår; d. v. s. de tillväxthämmande fenomenen dominerar bilden efter det optimumtemperaturområdet passerats. I detta sammanhang vill förf. uttryckligen poängtera att luftens medeltemperatur endast *i n d i c e r a r* assimilationsytans temperatur och dess förhållande till den totala insolationen. Tyvärr har icke tiden medgett ett djupare inträngande i detta delproblem; ett pågående försök, som anlagts år 1958, skall väl i sinom tid belysa väsentliga detaljer.

Emedan föreliggande utredning i sin huvudmålsättning icke innefattar kartläggningen av tillväxtens beroende av temperaturen över hela det fysiologiskt möjliga registret,

har denna del av utredningen av praktiska skäl begränsats till temperaturområdet  $+5^{\circ}$ — $+18^{\circ}\text{C}$ , d. v. s. till vegetationsperiodens faktiska månadsmedelvärden i skogsgränsområdet. Yttermera antages att tallens taxatoriskt mätbara tillväxt begynner vid en lufttemperatur av c.  $+5^{\circ}\text{C}$  (enligt observationer från Aksujärvi ekologiska station) och att ett överskridande av medeltemperaturen  $+11.5^{\circ}\text{C}$  för hela vegetationsperioden ofta leder till ökade fruktifikativa reaktioner med tyätföljande reduktion av stammens tillväxtaktivitet, vilken egentligen ytterligare skulle öka ända till en viss gräns om icke frösättningen inverkar hämmande på de somatiska skeendena. Utgående från dessa premisser har förf. uppställt det approximativa samband mellan temperaturfaktorn inom området  $+5^{\circ}$ — $+18^{\circ}\text{C}$  och tallens tillväxt i skogsgränssonen som framgår av fig. 10.

Av kurvan framgår att tillväxten vid t. ex. en medeltemperatur av c.  $14.8^{\circ}\text{C}$  är 4 gånger större än vid  $+8.0^{\circ}\text{C}$ , trots att temperaturen ökat mindre än dubbelt. I praktiken betyder ovananförda samband att *t i l l v ä x t e n* ej kan ställas i *d i r e k t* relation till de lokala temperaturvärdena. En av temperaturen betingad *k o r r e k t i o n* är m. a. o. nödvändig. Det är intressant att konstatera att Mork redan år 1941 spårat denna temperatures superpositiva effekt, och redan då gett den en klar utformning (M o r k 1941,

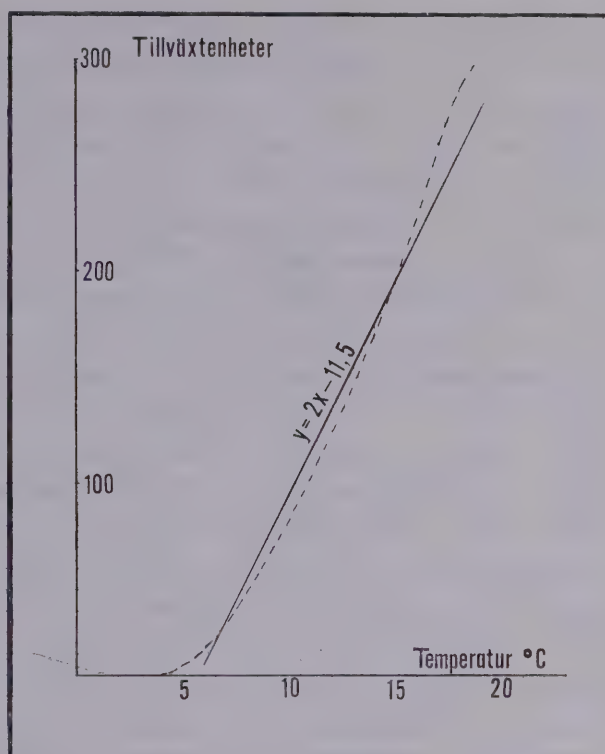


Fig. 10. Sambandet mellan tallens tillväxt och temperaturen. Den streckade kurvan baserar sig på orienterande empiriska värden.

s. 65). Enquist (1924, 1929), Langlet (1935, 1936), Hustich (1945), och Mikola (1950), har även berört ämnet och framlagt instruktiva sifferuppgifter. Av Polsters utredningar framgår ytterligare att temperatur-effekten i princip är additiv, och att trädets funktionella behov först tillgodoses, och därefter tillväxt och reproduktiva yttringar i nämnd ordning ända till en viss maximitemperatur.

I detta sammanhang är det skäl att söka utreda hur lång och effektiv vegetationsperioden vid skogsgränsen realiter är. Uppgifterna varierar givetvis, men utgående ifrån den av Keränen (1949) beräknade effektiva temperatursumman och de tillbudsstående månadsmedeltalen för luftens temperatur finner man att tallens mätbara tillväxt i regel sker under tiden från medlet av juni till c. tredje veckan i augusti, d. v. s. under c. 8—10 veckor, under vilken tid den effektiva temperatursumman i regel överskrider 500 enheter, vilket i stort sett motsvarar c. 300 växtenheter enligt Morks beräkningssätt (Mork 1941, 1957). Om för- och högsommartemperaturen råkar bli onormalt hög reagerar tallen antingen med accentuerad tillväxt eller med riklig bildning av blomanlag, som vid gynnsamma temperaturförhållanden under de två följande vegetationsperioderna resulterar i blomning och frösättning med tyåtföljande nedgång av tillväxten.

I syfte att klarlägga frösättningens tillväxthämmande effekt detaljstuderades 200 normalt blommande och kottbärande trädindivider vid skogsgränsen år 1961. Han- och honblommor samt gröna och bruna kottar räknades med tillhjälp av kikare. Cirka 250 grentoppar per träd inventerades i jämnt fördelat förband över kronans mantelyta. Resultatet av inventeringen visade att träden i fråga år 1961 uppvisade följande reproduktionsdata i medeltal per individ (tabell 5):

Antalet råfrön per kott varierade mellan 3—21 och kan med stöd av tidigare utredningar uppskattas till i genomsnitt c. 12 st. Fröskörden våren 1961 har alltså uppgått till c. 2 600 frön/träd motsvarande en vikt av c. 10 gr. De gröna kottarnas torrsvikt är i föreliggande fall av storleksordningen 480 gr per träd. Tillfogas yttermera vikten av de avstötta hanblommorna och obefruktade honblommorna kan blomning och frösättning uppskattas förbruka till sin sammansättning mycket inkommensurabel torrsbstans av storleksordningen c. 500 gr/år. Nu är dessutom att märka att frösättningsproceduren kräver minst tre år. Under den första temperaturmässigt gynnsamma sommaren efter en följd av år med nedsatta reproduktionsbetingelser anlägges blomknopparna. Följande vegetationsperiod inträffar blomning och pollinering. Under den tredje sommaren sker fröbildning och mognad i den mån befruktningen lyckats. Den fjärde våren och försommaren sker klängningen och kottarna avstötes. Samtliga faser kan dessutom uppträda samtidigt såsom varit fallet år 1961. Frösättningsårens diversionseffekt kan i regel spåras i form av anmärkningsvärt smala årsringar (jmf. H u s-

Tabell 5. Antalet han- och honblommor samt gröna och bruna kottar per träd jämte kottförekomsten på marken åldersgruppsvis.

Kronans exposition	Hanblommor, st i kronans			Honblommor, st			Gröna kottar, st (klänga 1962)			Bruna kottar (klängt 1961), st	Antal kottar på marken från olika klängningsår				
	nedre del a	mitt- parti b	topp c	a	b	c	a	b	c		1961	1959	1958—57	1956—54	1954
N .....	676	518	313	153	391	553	87	244	317						
E .....	721	574	270	162	398	577	132	288	308						
S .....	670	499	315	194	388	582	110	299	304						
W .....	689	534	308	161	344	586	104	237	281						
Σ .....	2 756	2 125	1 206	670	1 521	2 298	433	1 068	1 210	580	2 512	1 852	1 546	1 039	2 301
M <sub>1</sub> per prov	13.78	10.625	6.03	3.35	7.605	11.49	2.165	5.34	6.05						
Σ per träd (16 × M <sub>1</sub> )..	~486			~343			~217			~47 Σ ~57	~10	~9.3	~7.7	~5.4	~11.5

tich och Mork). Talrika vid denna undersökning gjorda observationer tyder emellertid på att även vegetationsperioden efter frömognaden karakteriseras av nedsatt tillväxt. Om det härvidlag är fråga om effekten av fortsatt frösättning, en efterverkan av den reducerade assimilationsytan eller nedsatt kondition i allmänhet, är svårt att avgöra. Organologiskt motsvarar ju honblomman närmast ett långskott medan hanblommorna är omformade kortskott. Vardera blomtypen reducerar alltså assimilationsytan, om också på olika sätt.

Trots att tallen i princip är ett tvåkönat träd, uppträder den i skogsgränzonen synnerligen ofta som praktiskt taget enkönad. Vid ovannämnda inventering befanns 36 % av samtliga individer vara klart hanblomsdominerade medan 30 % hade endast spår av hanblom. Redan på långt avstånd kunde man avgöra om trädet ifråga var kottbärande eller icke. »Han»-trädens krona hade glesnat i anmärkningsvärd grad genom hanblommornas upprepade rikliga förekomst<sup>1)</sup>. Under de till barrskruden täta »hon»-träden skvallrade ett tjockt lager av tallkott om förbrukad växtenergi. I vardera fallet är det alltså fråga om en kännbar reduktion av assimilationsytan. Abnormt riklig blomning uppträder endast då speciella exogena och troligen också i viss mån endogena betingelser föreligger. Dessa iakttagelser verifierar de utomordentliga observationer Renvall gjort i ämnet redan för c. 50 år sedan (se Renvall 1912, 1914, 1919) och vilka Hustich yttermera kompletterat (jmf. Hustich 1948a, s. 51—56).

För att kunna fastställa den kvantitativa storleken av blomningens och frösättningens tillväxtreducerande verkan bör tillväxten per trädindivid beräknas. På basen av ett litet men representativt material har den kunnat approximeras till c. 2.2 liter per medelstort träd ( $\emptyset = 20\text{--}30$  cm,  $H = 10\text{--}12$  m) motsvarande en torrsvikt på c. 880 gr. Under en frösättningsperiod omfattande 4 år inklusive rekonvalescensåret skulle tillväxten normaliter vara av storleksordningen c. 3 500 gr, varav en från det normala avvikande accentuerad kottsättning, förslagsvis 200 st. gröna kottar per träd, skulle binda c. 400—500 gr av totalproduktionen i torrsvikt. Tillväxtreduktionen utgör m. a. o. i här föreliggande fall c. 12—15 %. Emedan blomning och kottsättning under gynnsamma år interfererar med både tidigare och senare reproduktionsföljder, kan man i regel antaga att frösättningsmaximet omgives av svagare år. Ovan beräknade årliga tillväxtförlust kan för den skull utan avkall på realiteterna ökas till c. 20 % för hela frösättningsperioden. Denna reduktion gäller alltså endast fröåret och de närmast föregående vegetationsperioderna, och skall betraktas som en genomsnittlig reduktion, ty tillväxtminskningen

<sup>1)</sup> Denna företeelse har bl. a. gett Renvall anledning att tala om »equisetiformis»-tall (se Renvall 1912, s. 16).

förefaller vara minst under den sommar blomknopparna bildas och störst under frömnadsåret.

I det följande har detaljstudiet av föregående sommars efterverkan på näringsupplagring och assimilationsyta förbigåtts. Emedan detta fenomen är en redan länge sedan väldokumenterad realitet kan det endast tilläggas att en c. 400 tallplantor omfattande kontrollmätning på Aksujärvi ekologiska station till alla delar verifierat tidigare rön i berörda avseenden.

Den autoregressiva analys, som i denna utredning utfördes i syfte att kartlägga tillväxtens beroende av föregående års tillväxt, utvisade även ett signifikant samband. För regressionen med avseende å de 4 resp. 6 näst-föregående årens indexvärden erhöles enligt K e n d a l l (1955, s. 420—423):

$$10^3 \cdot y_4^*(t) = 426.07 y_{(t-1)} + 0.77 t_{(t-2)} + 23.48 y_{(t-3)} + 7.27 y_{(t-4)},$$

$$10^3 \cdot y_6^*(t) = 416.88 y_{(t-1)} + 0.80 y_{(t-2)} + 26.06 y_{(t-3)} + 3.21 y_{(t-4)} \\ + 0.003 y_{(t-5)} + 0.88 y_{(t-6)}.$$

Tolkningen av funktionerna kan knappast bli annat än entydig: endast det närmast föregående året har haft en mycket påtaglig inverkan. De övriga årens individuella inverkan har däremot varit mycket mindre. Härmed är emellertid icke bevisat att deras sammanlagda inverkan vore lika obetydlig.

Vid den empiriska prövningen av sambandet mellan tillväxten och olika konstellationer av klimatfaktorer har de av Hustich komponerade kombinationerna gett några jämförelseobjekt. Utöver temperaturen har Hustich även inkluderat nederbörd och molnighet i sina korrelationsberäkningar. Emedan den direkta effekten av de sistnämnda faktorerna i korrelationsberäkningen synes ha varit liten (H u s t i c h 1945, s. 21) har förf. prövat sig fram på andra vägar.

Nederbörden är rätt sällan en ekologisk minimifaktor av rang i norra Finland. Den negativa effekten av långa torrperioder under försommaren uppvägs i regel av det i marken magasinerade smältvattnet. Dess tillräcklighet beror på markens vattenkapacitet. På vissa sandmarker äger en katastrofal uttorkning rum redan efter c. två veckors torka. På de vanligaste marktyperna i skogsgränsområdet förslår markvattnet i skogsbestånd emellertid för c. 4—5 veckors behov. Längre torrperioder resulterar oundvikligen i nedsatt assimilation och reducerad tillväxt; år 1955 var ett dylikt undantagsår i borte Lappland. Med hänsyn till att tallbestånd under normala förhållanden förbrukar en vattenmängd, som motsvarar en nederbördsmängd på c. 1.0 mm per dag i skogsgränssonen bör en lämpligt fördelad regnmängd på c. 20 mm i juli månad förslå att komplettera den sista smältvattensreserven i marken och att motverka de värsta konsekvenserna av en ihållande torrperiod efter snösmältningen. Sjunker nederbörden under ovannämnda

gräns följer i regel en stagnation i tillväxten. Nederbörden kan förorsaka störningar i tillväxtförloppet även på annat sätt. För assimilationen spelar som känt ljuset en väsentlig roll. Reduceras ljustillgången t. ex. genom konstant molnighet medför detta ett mätbart avbräck i assimilationen och tillväxten. Molnighet indiceras bäst av molnighetstal, men även överstora regnmängder kan tjäna som indikatorer, isynnerhet som molnighetstalen endast gäller dagens molnighet. I området omkring 69. latituden lyser solen nämligen även på natten under vegetationsperioden.

Hustich (op. c. s. 21) har presenterat en mängd olika kombinationer av klimatelement och beräknat korrelationen mellan dem å ena sidan och den standardiserade radialtillväxten å den andra. De erhållna koefficienterna varierar mellan 0.50—0.65 (ett värde  $r = 0.36$  kan här förbigås). Genom att tillämpa några av Hustich's formler visade även här föreliggande material korrelationer mellan 0.36—0.52 med de ifrågakommande klimatelementen. Orsaken till den i regel sämre korrelationen har icke utretts, men troligen spelar förutom den svårtolkade, komplicerade ekologiska konstellationen även detaljolikheter i materialen och de längre observationstiderna (1879—1960), (1907—1960), (1908—1960) en viss roll härvidlag.

På basen av de genom ekologiska experiment och kontinuerliga observationer kontrollerade teoretiska slutsatserna (jmf. s. 31—37) har förf. försöksvis<sup>1)</sup> uppställt ett antal karakteristika för klimateffekten:

$$T_1 = T_m + \frac{1}{2} \underbrace{\left( \frac{T_m + T_{VII}}{2} - T_{norm.} \right)}_{a_n} \quad (13)$$

$$T_2 = T_m + a_n + a_{n-1} \quad (14)$$

$$T_3 = T_m + a_n + a_{n-1} + 2 \underbrace{(T_{m(10)} - T_{norm.})}_b \quad (15)$$

$$T_4 = T_m + a_n + a_{n-1} + b - \underbrace{\frac{A_P}{30}}_c \quad (16)$$

$$T_5 = T_m + a_n + a_{n-1} + b - c + S \cdot 10^{-1} \quad (17)$$

$$Z_b = 10 T_5 \quad (18)$$

Ovanstående symboler har följande betydelse:

$T_1, T_2, \dots$  = vegetationsperiodens (juni—aug.) korrigerade temperaturvärde (= klimateffekt)

$T_m$  = vegetationsperiodens observerade medeltemperatur

$T_{VII}$  = juli månads observerade medeltemperatur

<sup>1)</sup> Tidsbristen medgav tyvärr icke utförandet av de nödvändigaste regressionsanalyserna.

- $T_{m(10)}$  = de tio föregående vegetationsperiodernas observerade medeltemperatur
- $T_{norm.}$  = + 11.5°C
- $$\Delta_P = \begin{cases} 20 \text{ mm} - P_{VII} & \text{om } P_{VII} < 20 \text{ mm} \\ 0 & \text{om } 20 \text{ mm} \leq P_{VII} \leq 80 \text{ mm} \\ P_{VII} - 80 \text{ mm} & \text{om } P_{VII} > 80 \text{ mm} \end{cases}$$
- $P_{VII}$  = juli månads nederbörd
- $P_{norm.}$  = juli månads normala nederbörd (utan tillväxthämmande effekt) = 50 ± 30 mm;
- $S$  = 0.2  $Z_m$ ; korrektion för frö år jämte 3 föregående vegetationsperioder;
- $Z_m$  = observerat årsringsindex
- $Z_b$  = beräknat årsringsindex
- $n - 1$  hänvisar till föregående års värden.

Visavi nederbördskorrekturen gäller regeln att temperaturens talvärde minskas med 1/30 av avvikelser från juli månads normalvärde (20 mm >  $P_{VII}$  > 80 mm, motsvarande minimum och maximum för tallens transpiration under en dag). Beträffande värdet för  $b$  bör noteras att beräkningsgrunden för långtidseffekten även borde ha inkluderat juli månads temperatureffekt. Den praktiska kalkylen hade emellertid i tryckningsskedet framskridit så långt att denna detaljkorrigering ej hann utföras.

Korrelationskoefficienten mellan karaktärstärkorna (13)—(17) och årsringsindex framgår av tabell 6.

Tabell 6. Korrelationen mellan grundseriens årsringsindex och motsvarande vegetationsperioders klimateffekter beräknade enligt (13)—(17).

Formel	Observationsorter		
	Enare (Ivalo) 1907—1960	Sodankylä 1908—1960	Karesuando 1880—1960
	Korrelationskoefficienter och medelfel		
(13) .....	0.51 ± 0.10	0.42 ± 0.12	0.46 ± 0.09
(14) .....	0.48 ± 0.11	0.41 ± 0.12	0.54 ± 0.08
(15) .....	0.68 ± 0.08	0.49 ± 0.10	0.71 ± 0.06
(16) .....	0.68 ± 0.07	0.73 ± 0.07	0.76 ± 0.05
(17) .....	0.84 ± 0.04	0.86 ± 0.03	0.81 ± 0.04

Tabell 6 illustrerar rätt väl de olika temperaturkorrekturens inverkan, isynnerhet som enbart juli månads eller enbart sommarmånadernas medeltemperatur gav ännu svagare korrelation än (13) (för t. ex. Enare  $r = 0.39$  resp. 0.47). Den sista funktionen (17) har gett den bästa korrelationen i samtliga fall. Trots att de enligt (16) och (17) erhållna koefficienterna är relativt höga är det skäl att framhålla att den instrumentella ekologiska forsk-

ningen med säkerhet i nära framtid kommer att kunna presentera data för matematiskt beräknade funktioner, som täcker klimatets växtfysiologiska effekt bättre än de ovan presenterade approximativa formlerna (jmf. Stålfelt 1960). Det kan ännu nämnas att Hustichs standardiserade material från Utsjoki gett enligt (17) en synnerligen god korrelation med Enare-klimatet, ty  $r$  har fått värdet  $0.84 \pm 0.05$ .

Med tanke på att ett landsomfattande fröår temporärt nedsätter skogens volymproduktion under en 10-årsperiod med uppskattningsvis c. 6—7 %, och att en långvarig klimatförsämring medförande en sänkning av vegetationsperiodens nuvarande medeltemperatur med t. ex.  $2^{\circ}\text{C}$  skulle nedsätta volymproduktionen med c. 40 %, synes klimatets utveckling vara en i högsta grad beaktansvärd faktor.

För att exemplifiera betydelsen av en dylik temperaturnedgång är det instruktivt att jämföra skogsgränstillväxt under perioderna 1903—1912 och 1933—1942. Jämförelsens resultat framgår av tabell 7.

Tabell 7. Exempel på sambandet mellan temperatur, relativ tillväxtkoefficient och årsringsindex.

Tidsperiod	Observerad $T_m^{\circ}\text{C}$	Korrigerad $T_m^{\circ}\text{C}$	Relativ tillväxtkoeff.	Årsringsindex $Z_b$	Frösättnings- korrigerat årsringsindex $Z_b + S$
1903—1912 . . . . .	9.5	8.0	45	41	41
1933—1942 . . . . .	12.1	13.4	154	125	140
Differens	$2.6^{\circ}$	$5.4^{\circ}$	109		99

Skillnaden mellan de beräknade och de faktiska värdena (inklusive fröproduktionen på 1930-talet) är c. 9 %, vilket kan anses åskådliggöra det här presenterade beräkningsförfarandets användbarhet.

Utöver sambandet mellan temperatur och tillväxt utfördes även beräkningar över korrelationen mellan nederbörd och tillväxt. Enär vanliga korrelationsanalyser ej gav något klart utslag (jmf. Hustich 1940, s. 21, se även Mikola 1950, s. 82—84) utfördes en jämförelse mellan tvenne små specialmaterial (30 + 30 borrhåar från c. 180 år gamla träd) från samma lokal; det ena materialet från en extremt torr mo c. 10 m över den fria vattenytan och det andra från en alldeles intill liggande strandmo c. 1.5 m över vattenytan. Efter vederbörlig standardisering av årsringsserierna visade det sig att temperaturen klart överskuggade nederbörden som tillväxtfaktor, även om ett svagt samband syntes föreligga mellan extremt regniga somrar och nedsatt tillväxt. Märkligt nog hade beståndet på den torra mon lidit mera av de ymmiga regnen än tallbeståndet i strandbrämet (fig. 11).

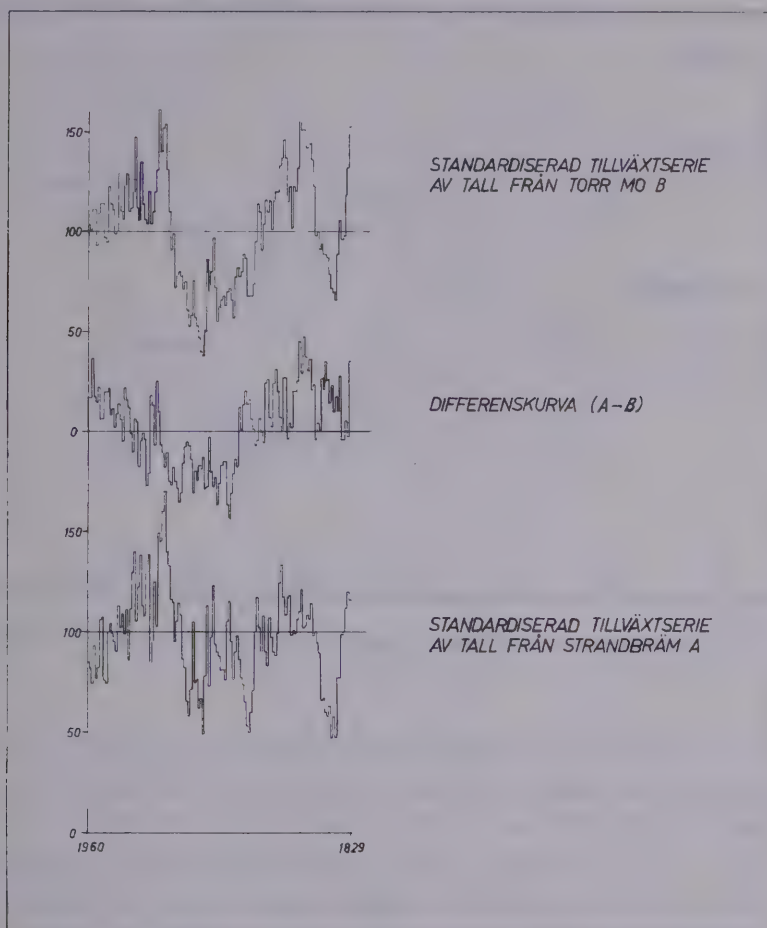


Fig. 11. Årsringsindexserier från en torr sandmo och ett fuktigt strandbräm; aritmetiska medeltal.

Sammanfattningsvis kan om sambandet mellan olika klimatelement och tillväxten konstateras att vegetationsperiodens temperatur synes vara den dominerande faktorn i den arktiska trädgränszonen; tillväxten synes dessutom enligt ett provisoriskt beräkningsförfarande utgöra en i det närmaste lineär funktion av medeltemperaturen korrigerad med olika element enligt (16) samtidigt som frösättnings tillväxtreducerande effekt bör observeras (17).

#### 43. Indexserierna

I enlighet med utredningens målsättning, dess uppläggning och materialinsamling är dess tyngdpunkt förlagd till årsringsserierna. De enligt funktion (1) s. 19 individuellt standardiserade årsringsseriernas gruppvisa medeltalserier uppvisar en relativt god inbördes överensstämmelse (jmf. diagrammen i fig. 12). Av denna orsak är även den efter konnektionen beräk-

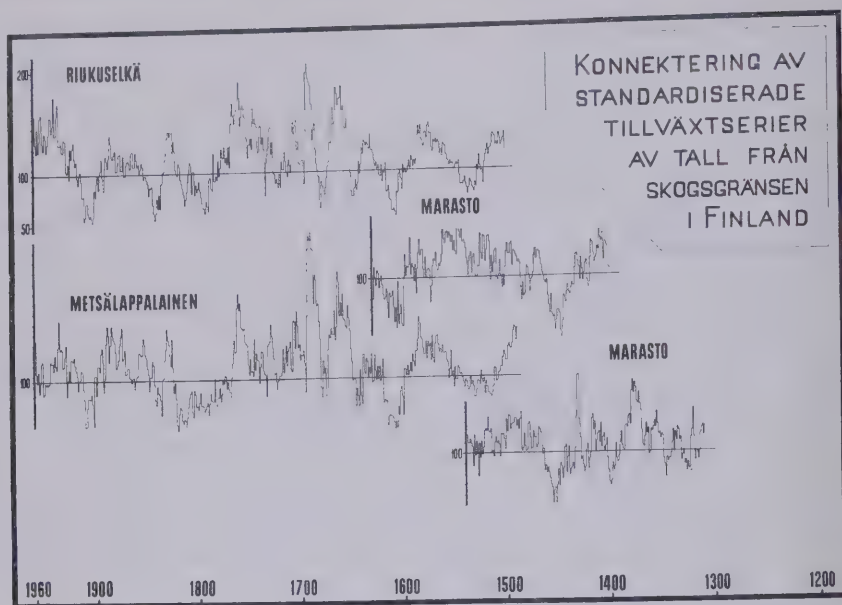


Fig. 12. Exempel på gruppseriernas överensstämmelse; aritmetiska medeltal.

nade grundseriens dispersion och medelfel snarare av samma eller t. o. m. lägre storleksordning än de gruppvisa indexseriernas motsvarande karakteristika.

Diagrammen i fig. 12 återger indexserier baserade på aritmetiska medeltal. På grund av att relationen mellan det observerade och beräknade värdet vid primärseriens standardisering uttryckts i procent ger den aritmetiska medeltalsserien ( $M_1$ ) emellertid en något i positiv riktning överaccentuerad bild av avvikelserna. I avsikt att rätta till relationen mellan positiva och negativa avvikelser beräknades fördenskill årsringsindexserien även på basen av geometriska medeltal ( $M_g$ ). För att möjliggöra jämförelse mellan resp. beräkningssätt även visavi dispersion och medelfel har  $M_g$  återgetts i logaritmisk form. Det principiella förhållandet mellan serierna framgår av fig. 13. Det är lätt att finna att den logaritmiska kurvan de facto har en lägre position. I själva grundserien synes isynnerhet tillväxtdepressionerna framträda prononcerat (fig. 7, 14). En annan iögonenfallande detalj föranledes av skogsbränderna år 1643 och 1675 (jmf. pilarna i fig. 13). Branden från år 1643 har icke varit någon utpräglad svår brand. Spår av den uppträder också rätt sporadiskt i materialet. I varje fall synes den ha förorsakat en temporär nedgång i radialtillväxten för att efter c. 10 års depression kompenseras av en kraftig tillväxtökning. En liknande brandreaktion har beskrivits av Mikola (1950, s. 89—90). Branden från c. år 1675 har haft ännu påtagligare följder. Denna brand som förekommit i tre av de 5 grupper som bildar ifrågavarande del av grundserien, har av allt att döma

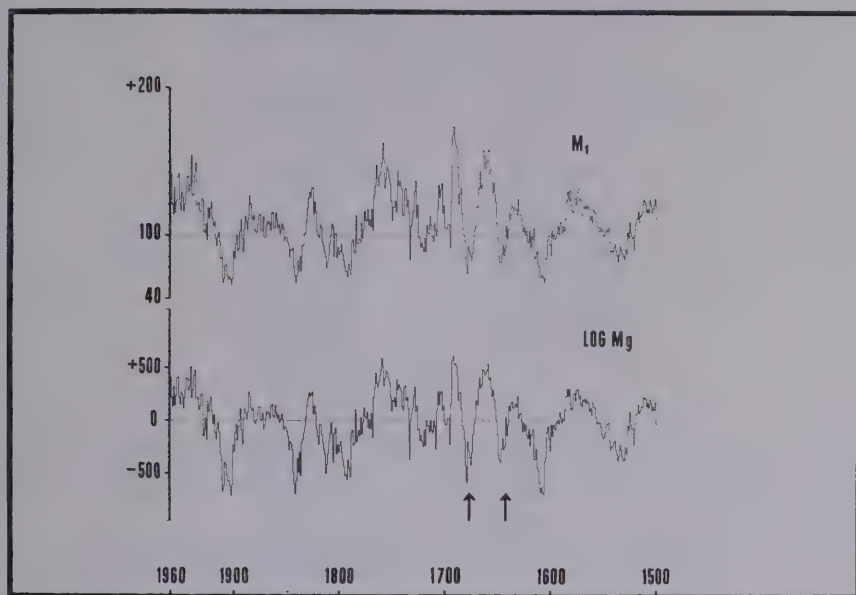


Fig. 13. Förhållandet mellan de på aritmetiska och geometriska medeltal beräknade indexserierna.

förorsakat både beståndet och marktillståndet (jmf. M e l e c h o w 1954) rätt svåra skador. Efter 5—6 års rekonvalescenstid har en positiv reaktion gjort sig gällande under 15 års tid. Därefter ser tillväxtvariationen ut att ha återfått sin normala karaktär.

Av övriga bränder, som trots ihärdiga försök att undvika dem som orenheter i materialet, kommit med i någon grupp bör den ur dateringssynpunkt viktiga branden från c. år 1453 nämnas. År 1733 har en svag markbrand förekommit i en annan grupp; dess effekt har emellertid varit mycket obetydlig. År 1789 har samma lokal ånyo hemsökts av en något svårare brand. Brändernas inverkan förefaller i allmänhet att ha varit av rätt kortvarig art (30—45 år). Som störningar i materialet är de beklagliga.

Det är endast i undantagsfall över 300-åriga tallbestånd undgått skogseldar i Lappland. Enstaka tallenklaver i Saariselkäs och Vaskojokis dalgångar erbjuder härvidlag de bästa exemplen.

Vad grundseriens (fig. 14) allmänna struktur beträffar är det intressant att konstatera följande av b r a n d o p p å v e r k a d e maxima och minima (tabell 8, s. 44):

Denna förteckning är för periodernas del i någon mån summarisk och innehåller dessutom en maximumperiod (1823—1833), som eventuellt kan vara påverkad av branden år 1789. Denna positiva oscillation förekommer emellertid även i andra utredningar, (jmf. R u b i n s t e i n (se A h l m a n n 1947) M i k o l a 1950 och A r n b o r g 1956), varför skäl synes föreligga att vid framtida utredningar ägna denna period en speciell upp-

Tabell 8. Markanta maxima och minima i grundserien.

Maxima	Minima
År 1200—1220 .....	1235—1245
1280—1300 .....	
1350—1385 .....	1445— ?
1488—1520 .....	
1555—1586 .....	1594—1628
1750—1768 .....	
(1823—1833) ?	1835—1850
1919— .....	1898—1918

märksamhet, emedan enligt samtida observationer av *Fellman* somrarna 1821, 1826 och 1829 närmast kan betecknas som katastrofår i *Utsjoki* (jmf. *J. Fellman* 1906).

En jämförelse med *Mikolas* årsringsindexserier från år 1750—1949 utvisar följande iögonenfallande likheter: maximum 1750—1768, minimum 1810—1822 (ev. brandbetingad), maximum 1823—1833, (ev. brandbetingad), minimum 1902—1915, maximum 1920—. Inga avgörande olikheter kan spåras; de största synes infalla under ett svagt maximum åren 1796—1800. *Mikolas* indexserier och förf:s grundserie visar också i detaljerna en överensstämmelse som med beaktande av olika utgångsläge och standardiseringsförfarande måste betecknas som överraskande god (jmf. tabell 9). Det kan yttermera nämnas att ovananförda avvikande maximum från år 1796—1800 förekommer i en enda grupp av *Mikolas* material, d. v. s. i *Utsjoki*-gruppen, men saknas praktiskt taget i serierna från *Lemmenjoki* och *Enare*. Sambandet mellan de enskilda årsindexen i *Mikolas* serier och förf:s grundserie baserad på det aritmetiska medeltalet befanns vara säkert, varom även korrelationskoefficienten vittnar:  $r = 0.92 \pm 0.011$ . (*Mikolas* serie är nämligen baserad på det aritmetiska medeltalet av olika index.) Några säkra tecken på den kortvågiga rytmik *Mikola* nämner exempel på (op. c. s. 104—107) kan däremot icke spåras — åtminstone inte okulärt. Överensstämmande regelbundenhet i stora drag är däremot icke utesluten. Den snabba nedgången av indexvärdena efter 1934 i en senare studie av *Mikola* (1959) uppvisar däremot mycket liten överensstämmelse med grundserien.

En liknande god överensstämmelse föreligger även mellan *Hustichs* korta serie och motsvarande period i här presenterade serie ( $r = 0.83$ ). Sambandet med *Erlandssons* serie är likaså tillfredsställande.

Jämförelserna med andra nordskandinaviska serier är något vanskligare av den orsaken att t. ex. de norska materialen härstammar från rätt avvikande förhållanden. En grov jämförelse visar emellertid att betydande samstämmighet likväl existerar. De mest karakteristiska maximum- och

Tabell 9. Exempel på överensstämmelser mellan Mikolas indexserie och grundserien.

Överensstämmande spårår	
Relativa maxima	Relativa minima
1759—61	1758
1759—61	1758
1780	1769
1799	1806
1826—30	1813
1876—77	1837
1890	1880—81
1898	1892—93
1901	1900
1930—31	1903—11
1934	1928—29
1937	1940
1941	1946

minimumperioderna tenderar att sammanfalla med grundseriens motsvarande perioder. Ordings serier (1941) förefaller passa bättre än de av Eide m (1953) och Aandstad (1934) publicerade. Tydliga inkongruenser förkommer emellertid, speciellt gäller detta två minima; från år 1820—1825 hos Eide m (op. c.) och år 1680—1700 hos Ord ing (op. c.). Ett maximum år 1889—1914 i Eide m s material från Tydal föreligger ej i det större materialet från Selbu, vilket visar en rätt påtaglig överensstämmelse med förf:s grundserie. Aandstad s serier uppvisar den minsta likheten med grundserien.

Korrelationskoefficienterna mellan de norska serierna och förf:s grundserie är låga och annat kan ju inte heller väntas, emedan avståndet mellan insamlingslokalerna är stort. Därutöver är de norska lokalernas latitud lägre, altituden återigen högre och klimattypen en annan än för de finska insamlingslokalerna. Liknande, av geografiska orsaker betingad, svag korrelation mellan olika latituder redovisas även av Mikola i hans undersökning, som bygger på material från hela Finland (Mikola 1950, s. 55).

Grundseriens maxima och minima erbjuder yttermera en möjlighet till jämförelse med historiskt vederhäftiga uppgifter om goda och dåliga skördeår, sommarens inbrott, islossningar, frostår och klimatet överhuvudtaget. En sammanställning av de tillbuds stående disparata anteckningarna ger emellertid för handen att endast ungefär hälften av de av Melander & Melander (1924) uppgivna nödåren passar in på grundseriens klimatdepressioner.

Däremot synes grundseriens samstämmighet med maxima och minima i Scho ves kompilation (1954) vara anmärkningsvärt god också för den del

Tabell 10. Exempel på överensstämmelser mellan Schoves analys och grundseriens index.

Överensstämmande tidpunkter				Speciellt iögonenfallande, icke överensstämmande tidpunkter
Maxima		Minima		
1575	1728	1595	1806	1789
1658	1851—52	1601—02	1812	1799
1738	1855	1614—15	1820—21	1821
1744	1858	1620	1836	1837—41
1753	1870	1641	1862	1872
1750—60	1885	1645	1866	1877
1763	1896	1680	1874	
1766	1901	1696	1880—81	
1772—79	1912	1709	1892	
1789		1722	1894	
1819		1734	1899	
1822—31		1769	1900	
		1781	1903	
		1790	1904—11	
		1800—01	o. s. v.	

av tidsavsnittet, från vilket meteorologiska data saknas. Vidstående tabell illustrerar närmare det ifrågavarande sambandet (tabell 10).

De kursiverade årtalen anger särskilt markanta maxima eller minima. H u s t i c h (1956 b, s. 22—24) har gjort en liknande jämförelse mellan indexserier för g r a n från Alaska, Labrador och norra Europa samt därutöver jämfört den nordeuropeiska serien med S c h o v e s uppgifter. Trots några smärre tolkningsolikheter visavi S c h o v e s anteckningar kan överensstämmelsen anses tillfredsställande. Det är intressant att konstatera att många av årtalen i tabell 10 gått till historien uttryckligen p. g. a. händelser som varit i hög grad klimatbetingade (jmf. Ö s t m a n & H e n r i k s o n 1942).

Sammanfattningsvis kan konstateras att grundserien för de jämförbara avsnittens vidkommande uppvisar en mycket god överensstämmelse med tidigare utredningar från samma områden. Denna konklusion innebär att grundseriens tillförlitlighet för de delar, som saknar jämförelsematerial, också kan anses vara betryggande.

Däremot kan man varken på basen av jämförelser med tidigare rön eller utgående från en okulär detaljgranskning draga några som helst slutsatser om eventuellt förekommande periodicitet, ehuru en viss tendens till regelbundenhet i stora drag kan skönjas.

#### 44. Radialtillväxtens periodicitet

Av introduktionen till denna utredning framgår att målsättningen förutom datering av tallens tidigare reproduktionstidpunkter, beskrivning av radialtillväxtens variation och preliminär klarläggning av dessas beroende

av klimatiska omständigheter även omfattar kartläggning av eventuellt existerande periodicitet.

Den undersökningsmetodik som härvidlag kommit till användning har tidigare presenterats i avsnittet 32 (s. 21—25). Huvuduppmärksamheten kan fördenskill i det följande koncentreras till resultaten.

Den första uppgiften gällde som av serialanalysen framgått att på basen av de erhållna korrelogrammens struktur avgöra till vilken kategori av oscillatoriska företeelser grundseriens fluktuation tillhörde. Det visade sig att korrelogrammen, vilka här representeras av fig. 8 a, var av sinusoidal form. Dessutom oscillerade de utan att varken dämpas eller upphöra vid ökade värden på tidsavståndet. Antalet toppar utanför signifikansgränsen var dessutom stort. Dessa fakta tydde på att grundserien med stor sannolikhet dominerades av harmoniska element. Det härefter beräknade periodogrammet utvisade vidare att den s. k. intensiteten låg över en betryggande konfidensnivå vid sex olika intervalllängder (jmf. tabell 2, s. 24). Av dessa sex periodicitetsindikatorer kan den sista ( $\lambda = 342$  år) eventuellt anses utgöra en sammanfallande multipel av kortare perioder. Tre av de erhållna  $S$ -värdena,  $S_2$ ,  $S_3$  och  $S_5$  motsvarande 72, 93 och 204 års perioder, skulle t. o. m. klara en konfidensnivå på  $18 E (S^2)$  (se fig. 8 b och formel 6), vilket torde definitivt säkerställa deras signifikans.

Den i litteraturen redan av Brückner nämnda 35-årsperioden (Brückner 1890, s. 322 och Schreiber 1896, s. 76—82; jmf. även Douglass 1919, Mikola 1950, Erlandsson 1936), motsvaras här av den första av topparna i periodogrammet motsvarande en intervall på 33 år (eller ev. 34 år). Huruvida detta värde är riktigare än tidigare nämnda 35 år eller Tytlers på solens protuberanser baserade förslag om 30 år (se Lockyer 1874, s. 432) kan måhända avgöras vid den planerade kontrollutredningen. Följande period har här erhållit  $\lambda$ -värdet 72 år, vilket vid senare kontroll eventuellt kan korrigeras och då visar sig vara en multipel av t. ex. en observerad 35-årsperiod. Å andra sidan talar tidigare rön för en fristående 72-årsperiod. Bl. a. nämner Cajander (1916, s. 16) att Lockyer och Hanský skulle ha påvisat förefintligheten av en dylik periodicitet. — Den tredje periodtypen ( $\lambda = 92$  år) kan knappast ens efter den minutiösaste kontroll återföras som multipel på någondera av de tidigare perioderna. Denna period har förmodligen ej heller tidigare nämnts i den dendrokronologiska litteraturen. Den fjärde periodtypen ( $\lambda = 111$  år), som f. ö. anföres av Brückners vedersakare Schreiber (op. c. s. 82), har i likhet med 35-årsperioden en klart svagare intensitet än t. ex.  $S_2$  och  $S_3$ . — Den femte typen ( $\lambda = 204$  år) kan vid efterkontroll eventuellt visa sig bestå av sammanfallande multipler av  $S_2$  ( $3 \times 72 = 216$ ) och  $S_1$  ( $6 \times 33 = 198$ ), ifall ett större material förorsakar korrektion av de sistnämnda perioderna i konvergerande riktning. Denna period är emellertid rätt accentuerad och

har redan tidigare antytts i samband med reproduktionstidpunkternas koncentration till udda sekel. Visavi den sjätte periodtypen ( $\lambda = 342$  år) torde det vara ganska uppenbart att det härvidlag är fråga om sammanfallande multipler enligt t. ex.  $3 \times 111 = 333$  år,  $10 \times 33 = 330$  år, (eventuellt  $10 \times 34 = 340$  år) och  $5 \times 72 = 360$  år.

Som faktum kvarstår emellertid att samtliga intensiteter överstiger den föreskrivna konfidensnivån och att inga korta perioder ( $< 33$  år) befunnits signifikativa (se även Ångström 1941).

Genom att sammanställa de erhållna cykliska komponenterna, vilkas läge i förhållande till grundserien fixeras av parametrarna  $\lambda$ ,  $S$  och  $\alpha$  resp. våglängden, d. v. s. den cykliska periodens längd i år, dess amplitud och fasvinkeln vid x-axeln, till synteskurvor i olika kombinationer enligt tabell 3 (s. 25) erhålles ett mått på förhållandet mellan de ifrågavarande periodiska och residuala elementen i grundserien. Tabell 3 visar med önskvärd tydlighet att ingen individuell period förslår att överskugga grundseriens residuala variation. Däremot är redan den markantaste perioden ( $S_3$ ) utökad med ( $S_5$ ) tillfyllest att förskjuta förhållandet mellan periodiska och residuala element till de förras förmån, d. v. s.  $a_p : a_r > 1.0$ . Vid kombinationer av större kategori ökar förhållandet yttermera för att vid ( $S_1—S_6$ ) nå maximum, d. v. s.  $a_p : a_r = 4.33$ , vilket betyder att c. 88 % av grundseriens oscillation synes vara av periodiskt ursprung. Inför denna siffra är det emellertid skäl observera att synteskurvan för ( $S_1—S_6$ ), vilken för övrigt överensstämmer

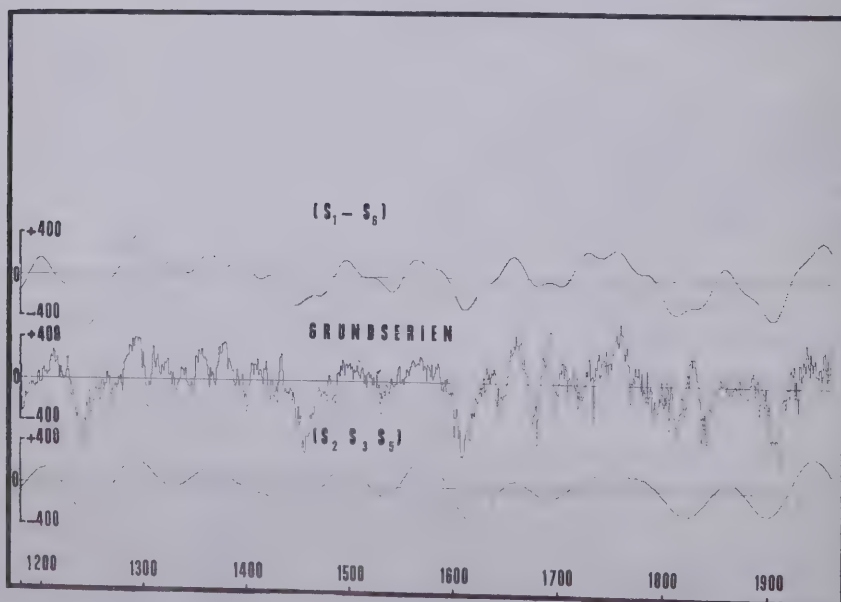


Fig. 14. Grundserien och de bägge synteskurvorna ( $S_1—S_6$  och  $S_2, S_3, S_5$ ).

med grundseriens fluktuationer på ett övertygande sätt (se fig. 14), är uppbyggd av inalles 18 parametrar, vilket sakförhållande givetvis är ägnat att i viss mån reducera dess bevisvärde. Å andra sidan är det av yttersta intresse att konstatera att denna synteskurva, trots dess 18 parametrar icke följer grundseriens fluktuationer efter skogsbränderna år 1643, 1675, 1733 och 1789. Ej heller har synteskurvan ( $S_1—S_6$ ) anpassat sig efter tillväxtökningen strax efter år 1820, vars förefintlighet och orsaker härigenom verkar yttermera förbryllande.

Denna obenägenhet att notera tillfälliga störningar i radialtillväxtens fluktuation kan enligt förf:s mening knappast tolkas på annat sätt än att synteskurvan ( $S_1—S_6$ ) de facto återspeglar en av skogshistoriska skeenden oberoende periodicitet. Det samma synes gälla den säkraste av samtliga kombinationer, nämligen synteskurvan ( $S_2, S_3, S_5$ ), vilket med stor pregnans framgår av fig. 14 (s. 48). Visavi tidsavsnittet 1823—1834, för vilket även Mikola och Arnborg redovisar en positiv tillväxtfluktuation, men vilket Fellman beskriver som klimatiskt mindre gynnsamt, kan givetvis ingenting definitivt sägas i detta skede. Förutsatt att Fellmans iakttagelser är riktiga och synteskurvans negativa fluktuation klimatbetingad kan man som en möjlig förklaring tänka sig en temporär förbättring av de edafiska förhållandena. Markbränder som skulle ha nått samtliga insamlingslokaler kan dock knappast komma ifråga. Däremot är det tänkbart att de många skogsbränderna i slutet av 1700-talet gett upphov till ett så rikt björkinslag i tallskogarna att en frostmätarkatastrof av 1955 års dimensioner mycket väl kan ha lett till ett temporärt överutbud av markens närämnen även i av bränderna opåverkade talldominerade bestånd. Denna detalj tål emellertid ett närmare studium. De i fig. 14 inritade synteskurvornas överensstämmelse med grundserien synes i varje fall med undantag för ovannämnda störningar vara anmärkningsvärt god.

I ett tidigare avsnitt har sambandet mellan tillväxt och temperatur diskuterats. Genom att tillmäta olika klimatelement varierande tillväxtbefrämjande eller -hämmande betydelse kunde en provisorisk funktion uppställas för tillväxtens lineära beroende av vegetationsperiodens korrigerade klimateffekt (formel 17, s. 38). Denna formel resulterade i korrelationskoefficienter mellan tillväxtindex och temperaturvärden som översteg 0.80 i samtliga undersökta fall. Sommarens medeltemperatur jämte juli-temperaturen visade sig härvidlag vara de betydelsefullaste klimatelementen.

Om man nu utgående från de erhållna sambanden utsträcker analysen av olika kausalsammanhang till en korrelationsanalys av förhållandet mellan synteskurvorna ( $S_2, S_3, S_5$ ), ( $S_1—S_6$ ) och temperaturkurvan för t. ex. Karresuando och årsringsindex erhålles följande intressanta resultat:

Tabell 11. Korrelationen mellan å ena sidan synteskurvorna ( $S_1$ — $S_6$ ) och ( $S_2$ ,  $S_3$ ,  $S_5$ ) samt å andra sidan sommarens medeltemperaturer i Karesuando (1902—1960) och årsringsindex.

Synteskurva	Karesuando $T_m$	Årsringsindex
$S_1$ — $S_6$	$0.85 \pm 0.04$	$0.78 \pm 0.04$
$S_2$ , $S_3$ , $S_5$	$0.69 \pm 0.07$	$0.75 \pm 0.04$

Tabellens siffervärden ger anledning till att antaga att de här presenterade synteskurvorna de facto indicerar temperaturklimatets utveckling under de gångna århundradena allt från år 1181 till 1960. Härmed har denna del av utredningens målsättning bragts till ett matematiskt relativt säkerställt slutresultat.

Vid tolkningen av kurvornas data bör det noteras att den meteorologiskt bestämda differensen av sommarens medeltemperatur mellan perioderna 1900—1910 och 1930—1940 är av storleksanordningen  $2.7^\circ\text{C}$ . Om medeltemperaturen för hela tidsperioden 1181—1960 betecknas med  $+11.0^\circ\text{C}$  erhålles följande approximativa gränsvärden för tidigare fluktuationer: (Tabell 12).

Tabell 12. Approximativ jämförelse mellan de gångna seklers (1200—1960) dominerande medeltemperaturer (kursiverade).

Århundrade	Periodtyp	
	Köldperiod	Värmeperiod
	Medeltemperaturens amplituder	
1200—1300 .....	+ 8.8—+ <i>11.0</i>	+ 11.0—+ 12.5
1301—1400 .....	+ 11.0—+ 11.2	+ <i>11.2</i> —+ <i>12.2</i>
1401—1500 .....	+ 9.8—+ <i>11.0</i>	+ 11.0—+ 11.5
1501—1600 .....	+ 10.5—+ 11.0	+ <i>11.0</i> —+ <i>11.6</i>
1601—1700 .....	+ 9.7—+ <i>11.0</i>	+ 11.0—+ 11.7
1701—1800 .....	+ 10.8—+ 11.0	+ <i>11.0</i> —+ <i>12.0</i>
1801—1900 .....	+ 9.5—+ <i>11.0</i>	+ 11.0—+ 11.5
1901—1960 .....	+ 9.5—+ 11.0	+ <i>11.0</i> —+ <i>12.2</i>

Siffervärdena i tabellen verifierar med klar evidens den konklusion dateringen av reproduktionstidpunkterna ledde till, d. v. s. att de udda seklen varit i genomsnitt betydligt varmare än de jämna under perioden 1200—1960. Yttermera förklarar tabellen i förening med synteskurvan även en av orsakerna till den reducerade reproduktionen under de jämna seklen; medeltemperaturen synes blott i undantagsfall ha överskridit tröskeltemperaturen för fullständig frömognad  $+11.5^\circ\text{C}$ . Tack vare tallens sekler överspännande livslängd har synbarligen inga större av reproduktionssvårigheter betingade skogsgränsförskjutningar likväl ägt rum.

Vid en detaljanalys av synteskurvan ( $S_1—S_6$ ) framgår yttermera att paleobotanikernas datering av den yngsta tills dato identifierade rekurrensytan till c. år 1250 av fig. 14 att döma lyckats synnerligen väl. Här bör emellertid anmärkas att sambandet mellan t. ex. de klimatiska förhållandena i skogsgränsområdet och vid t. ex. 63—64 breddgraden där rekurrensytstudierna ägt rum ej är definitivt ådagalagd, ehuru s. k. klimatperiodiska superpositioner sannolikt återspeglas över t. o. m. mycket stora områden.

I den mån korrelationen mellan tillväxt och sommarens medeltemperatur å ena sidan och tillväxten och här presenterade synteskurva över den exogena periodiciteten å andra sidan visar sig förbli signifikativ även vid den förestående kontrollundersökningen kan denna delutredning anses ha fullföljt målsättningens yttersta avsikt, nämligen att på indikativ väg kartlägga temperaturförhållandena i skogsgränsområdet under tiden 1180—1960.

#### 45. Prognos för temperaturklimatet under tiden 1960—2060

Inom skogsbruket spelar prognostiken en synnerligen framträdande roll. Långtidsplaneringen bygger på råvarubilanser, vilka baseras på hypotetiska antaganden om den framtida produktionen som i sin tur är beroende av det producerande virkesförrådet och dess ekologiska villkor. I de subarktiska skogsgränsområdena är temperaturklimatet i egenskap av minimifaktor den dominerande komponenten i den ekologiska konstellationen. Emedan relativt säkra samband kunnat konstateras mellan radialtillväxt, sommartemperatur och här presenterade synteskurvor infinner sig frågan om man ej kunde utnyttja de säkraste synteskurvorna för spaningsfärder in i framtiden.

Förutsatt att ovan presenterade synteskurvor (fig. 14, s. 48) de facto återspeglar det oscillerande temperaturklimatet bör det rent teoretiskt vara möjligt att förlänga deras sträckning utöver 1960 utan att validiteten reduceras. Detta experiment har utförts och resultatet föreligger i fig 15.

Enligt denna hypotetiska kurva har temperaturklimatets maximum passerats redan omkring år 1950 i skogsgränsområdet. Den sjunkande temperaturtrenden skulle vidare sjunka under medeltemperaturen omkring år 1975 och därefter oscillera med svaga utslag kring sitt medeltal. Den allmänna trenden indicerar m. a. o. en kännbar tillbakagång av skogs-

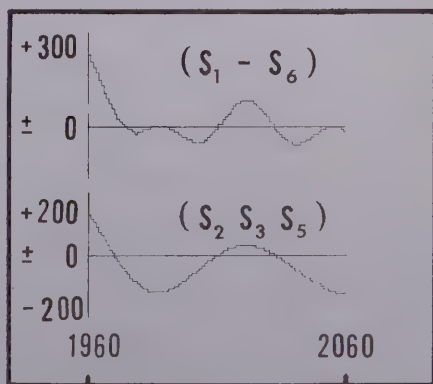


Fig. 15. Prognos för klimatutvecklingen under tiden 1960—2060.

gränsområdets reproduktionsbetingelser och tillväxtvillkor. I praktiken skulle nådatiden dock utgå först omkring år 1980 emedan de nuvarande beståndens vitalitet skulle motverka klimatförsämringen i någon mån och sålunda förorsaka en endogent betingad efterverkan, enligt de erfarenheter man i dag har om skogsträdens biologi.

## 5. Diskussion

Vid en diskussion av ovan relaterade resultat och prognoser infinner sig självmant frågan om deras allmängiltighet och överförbarhet på t. ex. sydligare förhållanden. Rent principiellt har denna aspekt tidigare dissekerats av H u s t i c h (1948 a, b, 1952), och de av honom framförda synpunkterna på temperaturens avtagande och nederbördens tilltagande relativa betydelse som utslagsgivande tillväxtfaktor vid kontinuerligt sjunkande latitud äger fortfarande sin giltighet. Det nya inslaget skulle för denna utrednings vidkommande i första hand gälla den konstaterade periodicitetens applicerbarhet utöver undersökningsområdets gränser.

Med utgångspunkt från tillgängliga meteorologiska data och M i k o l a s indexserier för hela Finland är man tvungen att konstatera att tydliga paralleller mellan temperaturklimatets utveckling på 68—70. respektive 60—63. breddgraden nordlig latitud för tiden 1900—1950 kan dragas. Enligt K e r ä n e n (1942, 1943), L y s g a a r d (1949) har också södra Finlands sommartemperatur ökat något över  $1.0^{\circ}\text{C}$  under tiden 1900—1950. Mot denna bakgrund får periodiciteten en mera allmängiltig karaktär, även om dess exogena karaktär redan i och för sig utgör en viss garanti för mer än lokal betydelse. Den allmängiltiga periodicitetens praktiska konsekvenser är givetvis oöverskådliga, men följande exempel kan kanske i någon belysa frågans storleksordning.

Den i det föregående nämnda prognostiken spelar av tidigare relaterade skäl en framträdande roll inom modärnt skogsbruk. Prognosens natur har tidigare inneburit att den inkluderar ett okänt antal osäkerhetsmoment. I detta avseende har den skogliga praktiken redan hunnit skaffa sig rika erfarenheter. För att exemplifiera detta kan det antagas t. ex. att Finlands skogstillgångar inventerats åren 1912, 1932 och 1952. Den kort efter klimatdepressionen 1902—1911 utförda första inventeringen skulle säkert inte ha resulterat i direkt uppmuntrande tillväxtsiffror. Tjugo år senare hade situationen varit en annan och då hade även förutsättningar förelegat att utföra en relevant klimatkorrektio; möjligheterna att f ö r u t s p å den framtida klimatutvecklingen hade däremot varit i stort sett lika små som

vid den första inventeringen. Slutligen hade den tredje inventeringen med stor sannolikhet uppvisat ännu fördelaktigare tillväxtsiffror än de tidigare inventeringarna. Ovan skildrade hypotetiska exempel har sin motsvarighet i verkligheten. De under professor Yrjö Ilvessalos sakkunniga ledning utförda riksskogstaxeringarna har ägt rum under 1900-talets klimatförbättring och de presenterade tillväxtresultaten har — till skogsbrukets stora lycka — överträffat t. o. m. de djärvaste förväntningar. Att en liten del av produktionsökningen kan tillskrivas den höjda skogsvårdsstandarden är icke helt uteslutet men den ojämförligt betydelsefullaste orsaken till den positiva utvecklingen kan med till visshet gränsande sannolikhet sökas i den gynnsamma klimatutvecklingen.

Den länge emotsedda förbättrade skogsvårdstekniken är emellertid numera ett ofrånkomligt krav på grund av att klimatutvecklingen på kort sikt ej längre — enligt prognosen — kan skyla fortsatta skogliga underlåtenhetssynder. Lyckligtvis kan effekten av t. o. m. långvariga temperatur-depressioner motverkas genom tillförsel av näringsämnen, d. v. s. genom gödsling av skogsmarken i verkligt stor skala.

Emedan klimatutvecklingen ej tills dato kunnat överblickas i tillräcklig utsträckning är det givetvis också självfallet att dess inverkan på t. ex. tillväxt- och produktionsstabeller från olika tidpunkter i ännu mindre grad kunnat förutses. Om olika utgångsmaterial härstammar från mycket divergerande klimatiska perioder torde det vara ogörligt att undvika diskrepanser uttryckligen ifråga om tillväxtens taxatoriska karakteristikor. Såvida inga andra orsaker till inkommensurabilitet föreligger erhålles emellertid genom avsiktlig lokalisering till klimatiska maximi- och minimiperioder tillförlitliga gränsvärden för tillväxtens variation, vilket enligt förf:s mening vore ett synnerligen värdefullt resultat.

Med hänsyn till att Mikolas (1950) indexserier omspanner 200 år, vilket i det närmaste motsvarar våglängden för den längsta i denna utredning konstaterade säkra perioden (204 år) kan de receptivt utförda klimatkorrekktioner som i Finland baserats på nämnda indexserier anses vara relativt kritiksäkra.

Bland andra intressanta med klimatfluktuationerna förknippade fenomen bör även den vid rikskogstaxeringarna befunnna bonitetsförbättringen framhållas. En jämförelse av de enligt Cajander stabila skogstypernas frekvens visar nämligen att en betydande positiv förskjutning ägt rum under 30-årsperioden 1921—1951. Från annat håll föreligger t. o. m. exempel på lokaler som under 50 år genomgått metamorfosen C/T  $\rightarrow$  CT  $\rightarrow$  VT <sup>1)</sup>. Från Lappland nämner Heikinheimo exempel på C/T som förvandlats till HMT. Det i skogstypsteorin förutsatta valet av sensibla bonitetsindikatorer motverkar m. a. o. teorins kategoriska imperativ om stånd-

<sup>1)</sup> Skogstypsbeteckningar enligt Cajander.

ortens bonitetsmässiga stabilitet. Den ekologisk-sosiologiska forskningslinje som E r k a m o (1956) utvecklat synes i detta avseende ha en angelägen uppgift att föra vidare.

Behovet av förbättrade förutsättningar för realistiska prognoser inskränker sig givetvis icke enbart till skogsbrukets produktionsforskning och skogshushållningens långtidsplanering. Också inom reproduktionsforskningen är behovet av t. ex. tillförlitliga prognoser för fröårens och gynnsamma skogsodlingsårs inträffande av vitalt intresse.

Hela problemet kan givetvis ses ur många synvinklar och vidare perspektiv än de skogliga; en alltför stor breddning av diskussionsbasen bryter emellertid ramen för detta förelöpande meddelande.

En utgångspunkt som i detta sammanhang inbjuder till särskilt intressanta tankeutflykter ligger i den konstaterade periodicitetens superpositiviska effekt. Av fig. 14 framgår att tillväxtdepressionen i medlet på 1200-talet förorsakas av att bl. a. de tre säkraste perioderna råkar samtidigt visa ett negativt oscillationsutslag, av synteskurvan ( $S_1-S_6$ ) framgår yttermera att även för de övriga periodernas vidkommande inträffar åtminstone en partiell superposition. Den ackumulerade effekten av en dylik samtidighet har av allt att döma haft så avgörande ekologiska konsekvenser, att dessa kunnat spåras i form av rekurrensytan från 1200-talet (jmf. t. ex. G r a n l u n d 1932, F r o m m 1938, B r a n d t 1948).

Nu infinner sig emellertid frågan om denna negativa superpositions återupprepning. Under förutsättningen att det verkligen rör sig om en lagbunden exogen periodicitet kan frågan besvaras genom en enkel aritmetisk beräkning. Det gäller blott att söka ett närmevärde för den minsta gemensamma dividenden, d. v. s. det tidsavsnitt då s a m t l i g a perioder oscillerar s a m t i d i g t å t s a m m a håll. Som utgångspunkt för en dylik beräkning lämpar sig t. ex. 1250-talet ypperligt på, grund av dess markanta minimum. Ett approximativt överslag av situationen resulterar i följande multipler av de enskilda perioderna:

Tabell 13. Beräkning av superpositionerna för ( $S_2, S_3, S_5$ ) och ( $S_1-S_6$ ).

Periodtyp	Periodantal	$\lambda$	$\Sigma$ år	Periodantal	$\lambda$	$\Sigma$ år
$S_1$ .....	—	—	—	50	33	1650
$S_2$ .....	14	72	1008	23	72	1656
$S_3$ .....	11	92	1012	18	92	1656
$S_4$ .....	—	—	—	15	111	1650
$S_5$ .....	5	204	1020	8	204	1632
( $S_6$ ) .....	—	—	—	(5	342	1710)
Approx. medeltal ....			~ 1015			~ 1650

Tabellens approximativa resultat skulle tyda på att relativt starka depressioner skulle uppträda med c. 1015 års intervall medan en superposition av samtliga perioder skulle inträffa med c. 1650-års intervall. Dessa negativa oscillationsutslag föregås och följes av motsvarande positiva utslag, vilka likväl är av mera dämpad art.

Vid en direkt jämförelse med den paleobotaniskt och kvartärgeologiskt bestämda klimatutvecklingen efter istiden finner man att klimatiska maxima- och minimiperioder avlöst varandra enligt en av A a r i o (1943) föreslagen intervall på c. 800 år. Om man utgår ifrån att inalles 13 klimatiska maxima kunnat konstateras sedan istidens slut och approximerar det ifrågavarande tidsavsnittet till c. 10 000 år, erhålles en medelintervall på c. 833 år. Detta tal avviker icke nämnvärt från halva intervallen ( $S_1-S_6$ ). Detta skulle innebära att A a r i o beräknat denna medelintervall bättre än vad förf. lyckades åstadkomma vid en tidigare preliminär uppskattning (jmf. S i r é n 1961).

Den paleobotaniska forskningen har yttermera ådagalagt att ungefär varannan värmeperiod varit av typen högvärmeperiod. Motsvarande superpositoriska depression skulle följaktligen återupprepas med c. 1600—1700 års intervall ( $2 \times 833 = 1666$ ). Denna beräkning korresponderar väl med här presenterade c. 1650 års intervall mellan de markantaste depressionerna.

Man kan givetvis resa kritik mot beräkningssättet och superpositionernas hypotetiska effekt. På basen vad som tidigare framhållits om förhållandet mellan här undersökta indexserie och den erhållna synteskurvan å ena sidan och å andra sidan temperaturklimatet under tiden 1900—1960 då ett relativt markerat maximum föregicks av ett minst lika markant minimum, vilka vardera dessutom kunnat dokumenteras medelst meteorologiska data, kan man emellertid fråga sig om icke de positiva indicierna överväger. På basen av ovan relaterade samband är det i varje fall möjligt att uppställa sannolika temperaturvärden för tidsavsnitt, vilka ohjälpligt ligger utom räckhåll för exakta meteorologiska observationer.

Om den genomsnittliga temperaturdifferensen,  $2.7^{\circ}\text{C}$ , mellan minimi- och maximiåren 1900—1960 kan antagas vara en riktig måttstock erhålles en maximal differens på  $4.4^{\circ}\text{C}$  mellan samtliga perioders superpositoriska maxima och minima. Om yttermera medeltemperaturen under 1181—1960 kan antagas ha varit  $11.0^{\circ}\text{C}$ , innebär de respektive klimatfluktuationerna följande (tab. 14):

Tabellen utvisar för 1900-talets minimum att den effektiva temperatursumman i stort sett överensstämmer med de värden L u n e l u n d (1942, s. 8—9) presenterat för skogsgränstrakter under ungefär samma tidsperiod. En jämförelse med K e r ä n e n och K o r h o n e n s värden (1951, s. 98) för den genomsnittliga temperatursumman visar i full överensstämmelse med tidigare erfarenheter om temperaturfluktuationerna att »köldperiodens» effektiva temperatursumma ligger klart u n d e r medeltalet.

Tabel 14. Jämförelse av vegetationsperiodens längd, medeltemperatur och dess effektiva temperatursumma under »köld»- och »värme»-perioder åren 1900—1960 samt under de teoretiskt möjliga superpositoriska minimi- och maximiperioderna.

	»Köldperioden» 1900—1910	»Värme- perioden» 1940—1950	Den teoretiska minimi- perioden	Den teoretiska maximi- perioden
Minimiperiodens medeltemp. under juni—aug. °C .....	c. 9.5		c. 8.8	
Vegetationsperiodens längd, dygn	c. 90		c. 80	
Effektiv temperatursumma, enheter	c. 400		c. 300	
Maximumperiodens medeltemp. un- der juni—aug. °C .....		c. 12.2		c. 13.2
Vegetationsperiodens längd, dygn		c. 120		c. 130
Effektiv temperatursumma, enheter		c. 800		c. 1000—1100

Det teoretiska tänkbara superpositoriska minimat, vilket f. ö. kan ha uppträtt med c. 1650 års intervall och senast c. år 1250, uppvisar en temperatursumma som med säkerhet omöjliggjort all generativ förökning och dessutom med stor sannolikhet kringskurit plantbeståndens möjligheter till fortbestånd.

Det faktum, att en relativt obetydlig stegring av medeltemperaturen ökar t. o. m. trefaldigt den effektiva temperatursumman (beräknad enligt K e r ä n e n 1942, s. 141), medför givetvis sådana förändringar i den ekologiska konstellationen att dess konsekvenser knappast kan överdimensioneras. En effektiv värmesumma på c. 1 000—1 100°C motsvarar i stort sett förhållandena i mellersta Finland i detta nu. Varmare än så har klimatet vid skogsgränsen knappast varit under tiden efter den sista nedisningen (jmf. A u e r 1927, E n q u i s t 1929, H y y p p ä 1936 och A a r i o 1940). Enligt A n d e r s s o n (1909, s. 65) har vegetationsperiodens maximala medeltemperatur under postglacial tid icke överstigit den dåvarande medeltemperaturen (alltså år 1909) med mera än c. 2.5°C.

Frånsett eventuellt förekommande andra temperaturklimatiska fenomen skulle ovanrelaterade periodicitet åtminstone delvis förklara den av paleobotaniker och kvartärgeologer konstaterade cykliciteten och dess konsekvenser på ett enkelt men likväl plausibelt sätt.

\* \* \*

Detta meddelande om skogsgränstallen som indikator för klimatfluktuationerna i norra Fennoskandien måste av olika orsaker betraktas som en första orientering i ämnet. Det till budsstående materialet har ej i sin helhet kunnat bearbetas och av de serialanalysmetoder som den avancerade statistiken kan acceptera i detta nu har endast det av Kendall utarbetade förfaringssättet prövats. Likaså har sambandet mellan olika klimatelement och tillväxten kartlagts medelst provisoriska funktioner för climateffekten. Att

utredningen trots dessa brister lett till överraskande signifikanta samband mellan empiriska och syntetiska värden utvisar emellertid att utgångsmaterialet med stor sannolikhet varit tillförlitligt och tillräckligt stort och att den tillämpade metodiken varit av tillfredsställande art.

Den kontrollmöjlighet det icke bearbetade materialet erbjuder kommer vid första tillfälle att utnyttjas. Detta innebär att de erhållna resultatens giltighet kan verifieras redan innan den instrumentella meteorologin fäller sitt definitiva utlåtande över den del av utredningen, som siktar på en kartläggning av den framtida klimatutvecklingen.

## 7. Litteraturförteckning

- A andstad, S. 1934. Untersuchungen über das Dickenwachstum der Kiefer in Solør. — *Nytt Mag. f. Naturv.* 74.
- A ario, L. 1940. Waldgrenzen und subrezentent Pollenspektren in Petsamo Lappland. — *Ann. Acad. Sc. Fenn. A.* 54.
- »— 1943. Über die Wald- und Klimaentwicklung an der lappländischen Eismeerküste in Petsamo, mit einem Beitrag zur nord- und mitteleuropäischen Klimageschichte. Suomenkielinen selostus: Metsien ja ilmaston kehitys Petsamossa sekä lisäys Pohjois- ja Keski-Euroopan ilmaston kehityshistoriaan. — *Ann. Bot. Soc. Zool. Bot. Fenn. »Vanamo»* 19: 1.
- »— 1944. Piirteitä jääkauden jälkeisestä ilmaston kehityksestä ja sen vaikutuksesta kulttuurihistoriaan. Referat: Über die postglaziale Klimaentwicklung und ihren Einfluss auf die Kulturgeschichte. — *Terra* 56.
- A hlm ann, H. W. son. 1939. The present climatic fluctuation. — *Geogr. Journ.* 112, s. 165—195. London.
- »— 1947. Den nutida klimatfluktuationen och dess utforskande. — *Norsk Geogr. Tidskr.* 11, s. 290—326.
- A ndersson, Gunnar. 1909. The climate of Sweden in the late-quaternary period. Facts and theories. — *Sveriges Geol. Undersökn. C:* 218, s. 1—88.
- A ndrejew, V. N. 1954. Trädvegetationens utbredning på tundran och dess beroende av planterade skogars skyddande egenskaper. — Orig. på ryska.
- A ntevs, E. 1927. Träd tillväxt och klimat i historisk tid. — *Ymer* 47, s. 321—336.
- A rnborg, Tore. 1956. Mark och vegetation inom Bensjöområdet samt några synpunkter på trädslagsvalet. Summary: Soil and vegetation in the Bensjö forest (south Jämtland, Sweden) and some conclusions regarding the choice of tree species for reforestation. — Medd. nr 83 fr. Sällsk. f. prakt. skogsförädl. Uppsala.
- A uer, Väinö. 1927. Untersuchungen über die Waldgrenzen und Torfböden in Lappland. — *Comm. Inst. Quaest. Forest. Finl.* 12: 4.
- B athen, R. 1925. Skogstillstanden i Troms. — *Tidskrift för Skogbruk*, s. 532—535.
- »— 1935. Vore polare furuskoger. — *Ibid.*, s. 75—83.
- B randt, A. 1948. Über die Entwicklung der Moore in Küstengebiet von Süd-Pohjanmaa am Bottnischen Meerbusen. Suomenkielinen selostus: Etelä-Pohjanmaan rannikkoseudun soiden kehityksestä. — *Ann. Bot. Soc. Zool. Bot. Fenn. »Vanamo»*, 23: 4.
- B rü c k n e r, Eduard. 1890. Klimaschwankungen seit 1700 nebst Bemerkungen über die Klimaschwankungen der Diluvialzeit. — *Geogr. Abh.* 4: 2, s. 1—324. Wien.
- C a j a n d e r, A. K. 1916. Metsänhoidon perusteet I. Porvoo.

- Dobbs, C. G. 1951. A study of growth in trees. — *Forestry* 24, s. 22—35.
- Douglass, A. E. 1919. Climatic cycles and tree growth. A study of the annual rings of trees in relation to climate and solar activity. — *Carnegie Inst. Wash. Publ.* 289: 1.
- Eide, E. 1923. Om temperaturmaalning og frøsaetning i Nord-Norges furuskoger 1920. — *Medd. fra det Norske Skogf.-vesen* H. 7.
- »— 1926. Om sommarvarmens inflydelse på årringsbredden. (Referat: Über Sommertemperatur und Dickenwachstum im Fichtenwald.). — *Ibid.* 2, s. 87—104.
- Eide, E. 1932. Furuens vekst og foryngelse i Finnmark. — *Ibid.* 4, s. 329—430.
- Eidem, Per. 1943. Über Schwankungen im Dickenwachstum der Fichte (*Picea abies*) in Selbu, Norwegen. — *Nytt Mag. Naturv.* 83, s. 145—189.
- Eklund, Bo. 1944. Ett försök att numeriskt fastställa klimatets inflytande på tallens och granens radietillväxt vid de båda finska riksskogstaxeringarna. — *Norrl. Skogsvårdsförb. Tidskr.* s. 193—226.
- »— 1949. Skogsforskningsinstitutets årringsmätningssmaskiner. — *Medd. fr. Stat. Skogsforskn.-inst.* 38: 5.
- »— 1954. Årringsbreddens klimatiskt betingade variation hos tall och gran inom norra Sverige åren 1900—1944. — *Ibid.* 44: 5.
- Eneroth, Olof. 1931. Om skogstyper och förnygringsförhållanden inom Lappmarken. — *Norrl. Skogsvårdsförb. Tidskr.* s. 113—182.
- Enquist, Fr. 1924. Sambandet mellan klimat och växtgränser. — *Geol. För. Stockholm Förh.* 46, s. 202—211.
- »— 1929. Studier över samtida växlingar i klimat och växtlighet. (Summary: Studies of contemporary changes in climate and vegetation.). — *Svensk. Geogr. Årsbok*, s. 7—50.
- »— 1933. Trädgränsundersökningar. (Referat: Baumgrenzuntersuchungen.). — *Sv. Skogsvårdsför. Tidskr.* s. 145—214.
- Eriksson, Gunnar L. 1942. Untersuchung der Periodizitäten der Wasserstände und der abfließenden Wassermengen von Norshund am Dalelf. — *Stat. Met.-Hydr. Anst., Medd., Serien Uppsatser* No 39.
- Erkamo, V. 1952. The Finnish bibliography of the recent climatic changes and their consequences. — *Fennia* 75, s. 118—128.
- »— 1956. Untersuchungen über die Pflanzenbiologischen und einige andere Folgeerscheinungen der neuzeitlichen Klimaschwankung in Finnland. — *Ann. Bot. Soc. Zool. Bot. Fenn. »Vanamo»* 28: 3.
- Erlandsson, Stellan. 1936. Dendro-chronological studies. — *Data* 23, s. 1—119. Uppsala.
- Fellman, Jacob. 1906. Anteckningar under min vistelse i Lappmarken I—IV. Helsingfors.
- Fries, Thore E. 1918. Några kritiska synpunkter på skogsgränsproblemet. — *Sv. Bot. Tidskr.* Bd. 12.
- Fritts, Harold C. 1961. Recent advances in dendrocronology in America with reference to the significance of climatic change. — *Unesco/WMO symposium on changes of climate with special reference to arid zones.* Rome.
- Fromm, E. 1938. Geochronologisch datierte Pollendiagramme und Diatomeenanalysen aus Ångermanland. — *Geol. Fören. Förh.* 60, s. 365—381.
- Glock, Waldo S. 1955. Growth Rings and Climate. — *The Botanical Review* Nos 1—3.

- Granlund, Erik. 1932. De svenska högmossarnas geologi. Deutsches Referat: Die Geologie der schwedischen Hochmoore. — Sverig. Geol. Unders., C 373, s. 1—193.
- Grenander, Ulf & Rosenblatt, Murray. 1957. Statistical analysis of stationary time series. — New York. Stockholm.
- Griggs, R. F. 1934. The edge of the forest in Alaska and the reasons for its position. — Ecology 15, s. 80—96.
- »— 1937. Timberline as indicators of climatic trends. — Science 85, s. 251—255.
- Hagem, Oscar. 1917. Furuens og granens frøsaetning i Norge. — Medd. Vestl. Forstl. Forsøksstat. 2, s. 1—188.
- Heikinheimo, Olli. 1921. Suomen metsärajametsät ja niiden vastainen käyttö. Referat: Die Waldgrenzwälder Finnlands und ihre künftige Nutzung. — Comm. Inst. Quaest. Finl. 4: 2.
- Hesselman, Henrik. 1904. Om tallens höjdtillväxt och skottbildning somrarne 1900—1903. Resumé: Über den Höhenzuwachs und die Sprossbildung der Kiefer in den Sommern 1900—1903. — Medd. Stat. Skogsförsöksanst. 1, s. 25—43.
- Hustich, Ilmari. 1940. Tallstudier sommaren 1939 i Enare och Utsjoki. — Acta Soc. pro F. Fl. Fenn. 62: 6.
- »— 1941. Tallens tjocklekstillväxt som klimatisk indikator. Summary: The radial growth of pine as climatological measure. — Terra 53.
- »— 1943. De årliga variationerna i tillväxtföreteelser och skördevärden i Lappland. Summary: The annual variations in the growth and crop values in Lappland. — Geogr. Ann. s. 105—115.
- »— und Elfving, G. 1944. Die Radialzuwachs variationen der Waldgrenzkiefer. — Soc. Scient. Fenn. Comm. Biol. 9: 8.
- »— 1945. The radial growth of the pine at the forest limit and its dependence on the climate. — Comm. Biol. Soc. Scient. Fenn. 9: 11.
- »— 1948 a. The Scots pine in northernmost Finland and its dependence on the climate in the last decades. — Acta Bot. Fenn. 42, s. 1—75.
- »— 1948 b. Trädens tillväxt i söder och norr i relation till den senaste klimatfluktuationen. Summary: Tree growth and climatic fluctuations. — Terra 60.
- »— 1949. On the correlation between growth and the recent climatic fluctuation. — Geogr. Ann. s. 90—105.
- »— 1952 a. Concluding remarks. — The recent climatic fluctuation in Finland and its consequences. A symposium. Fennia 75.
- »— 1952 b. Barrträdsarternas polara gräns på norra halvklotet. Comm. Inst. Forest. Fenn. 40: 29.
- »— 1956 a. Notes on the growth of Scots Pine in Utsjoki in northernmost Finland. — Acta Bot. Fenn. 56.
- »— 1956 b. Correlation of tree-ring chronologies of Alaska, Labrador and Northern Europe. — Acta Geogr. 15: 3.
- Hyypä, Esa. 1933. Über die spätquartäre Entwicklung Nord-Finnlands mit Ergänzungen zur Kenntnis des spätglazialen Klimas. — Geol. komm. Finl. 115.
- Jensen, Ad. S. 1939. Concerning a change of climate during recent decades in the arctic and subarctic regions, from Greenland in the West to Eurasia in the East, and contemporary biological and geophysical changes. — Biol. Medd. K. Danske Vid. Selsk. 14: 8.
- Jurva, Risto. 1952. On the variations and changes of freezing in the Baltic during the last 120 years. — Fennia 75, s. 17—24.

- Kendall, Maurice G. 1955. The advanced theory of statistics. Vol. II. Third edition. London.
- Keränen, J. 1942. Lämpötilous ja lämpötila maatalousilmastollisina tekijöinä Suomessa. — *Terra* 54: 1—2.
- 1943. (1944). Lämpötilan muutoksista Suomessa ja Pohjois-Euroopassa viime sadan vuoden aikana. (Über die Temperaturschwankungen in Finnland und Nordeuropa in den letzten hundert Jahren.). — *Suomal. Tiedeakat. Esit. ja Pöytäk.* 1941, s. 35—56.
- 1952. On temperature changes in Finland during the last hundred years. — *Fennia* 75, s. 5—16.
- Keränen, J. & Korhonen, V. V. 1951. Suomen maantieteen käsikirja. 9. Ilmasto. 2. painos. Helsinki.
- Kincer, J. B. 1946. Our changing climate. — *Transact. Amer. Geophys. Un.* 27, s. 342—347.
- Kortüm, Fr. 1955. Klimaschwankungen der Gegenwart. — *Archiv für Forstwesen.* Bd. 4. Berlin.
- Kujala, Viljo. 1927 Untersuchungen über den Bau und die Keimfähigkeit von Kiefern- und Fichtensamen in Finnland. — *Tutkimuksia männyn- ja kuusensiemenen rakenteesta ja itäväisyydestä Suomessa.* — *Comm. Inst. Quaest. Forest. Finl.* 12: 5.
- Laitakari, E. 1920. Tutkimuksia sääsuhteiden vaikutuksesta männyn pituus- ja paksuuskasvuun. Referat: Untersuchungen über die Einwirkung der Witterungsverhältnisse auf das Längen- und Dickenwachstum der Kiefer. — *Acta Forest. Fenn.* 17.
- Lakari, O. J. 1915. Studien über die Samenjahre und Altersklassenverhältnisse der Kiefernwälder auf dem nordfinnischen Heideboden. — *Acta Forest. Fenn.* 5.
- Langlet, Olof. 1929. Till frågan om sambandet mellan temperatur och växtgränser. — *Medd. fr. Stat. Skogsförsöksanst. H.* 28.
- 1936. Studier över tallens fysiologiska variabilitet och dess samband med klimatet. — *Ibid.* H. 29.
- Lehto, Jaakko. 1948. Tutkimus mäntysiemenpuiden kehityksestä. — *Stencil i inst. för skogsskötsel vid Helsingfors Universitet.*
- Liljequist, G. H. 1950. On fluctuations of the summer mean temperature in Sweden. — *Medd. Sveriges Met. Hydr. Inst., Ser. B:* 7, s. 1—24.
- Lockyer, J. Norman. 1874. Contributions to solar physics. London.
- Lundegårdh, Henrik. 1950. Klima und Boden in ihrer Wirkung auf das Pflanzenleben. Jena.
- Lunelund, Harald. 1942. Verteilung einiger Klimaelemente in Finnland. — *Comm. Phys. — Math. Soc. Sc. Fenn.* 11: 10, 1943.
- Lysgaard, Leo. 1949. Recent climatic fluctuations. — *Folia Geogr. Dan.* 5.
- Manley, Gordon. 1944. Some recent contributions to the Study of climatic change. — *Quart. Journ. Roy. Met. Soc.* 70, s. 197—219.
- Melander, K. R. & G. 1924. Katovuosista Suomessa. (Om nödår i Finland). — *Oma Maa V*, s. 350—359. Porvoo.
- Melechow, I. S. 1954. Forstpyrologins grunder. Leningrad. Orig. på ryska.
- Mikola, Peitsa. 1950. Puiden kasvun vaihteluista ja niiden merkityksestä kasvututkimuksissa. Summary: On variations in tree growth and their significance to growth studies. — *Comm. Inst. Forest. Fenn.* 38: 5.
- 1952. Havumetsien viimeaikaisesta kehityksestä metsänrajaseudulla. Summary: On the recent development of coniferous forests in the timberline region of Northern Finland. — *Comm. Inst. Forest. Fenn.* 40: 2.

- Mikola, Peitsa. 1959. Metsänviljelyn mahdollisuuksista pohjoisella metsänrajalla. — Metsätal. Aikakausl. No 11.
- Mork, Elias 1941. Om Sambandet mellom temperatur og vekst. Undersøkelser av de daglige variasjoner i granens högdetilvekst. Medd. fra Det Norske Skogf.-vesen. Bd. 8.
- »— 1957. Om frøkvalitet og frøproduksjon hos furu i Hirkjølen. Summary: Seed quality and seed production for Scots Pine at Hirkjølen. Ibid. Bd. 14.
- Nordfors, Georg A. 1928. Fjällskogens och exponerade skogars föryngrings-möjligheter med särskild hänsyn till det producerade fröets grobarhet under extrema klimatförhållanden. — Norrl. Skogsvårdsförb. Tidskr., s. 105—163, 222—286.
- Nordström, Lennart. 1953. Vår försörjning med tallfrö med särskild hänsyn till Norrlands höjdlägen. N. S. T. I. Stockholm.
- Nyysönen, Aarne. 1951. Puiden kasvusta ja sen määrittämisestä harsintamäniköissä. Summary: On tree growth and its ascertainment in selectively cut scots pine stands. — Comm. Inst. Forest. Fenn. 40.
- Näslund, Manfred. 1942. Den gamla norrländska granskogens reaktionsförmåga efter genomhuggning. — Medd. fr. Stat. Skogsförsöksinst. 33: 1.
- Ording, Asbjörn. 1941. Årringanalyser på gran og furu. — Medd. fra det Norske Skogf.-vesen No 25.
- Pjavitjenko, N. I. 1952. Om vegetationsregionernas förskjutningar i Öst-Europa och i Västra Sibiriens norra delar. — Vet. Akad. USSR medd. (XXXIV, I). Orig. på ryska.
- Polster, Hans. 1950. Die physiologischen Grundlagen der Stofferzeugung im Walde. Untersuchungen über Assimilation, Respiration und Transpiration unserer Hauptholzarten. — München.
- Regel, Constantin. 1950. Dynamik von Klima und Pflanzendecke in Nordeuropa. — Ber. Geobot. Forsch. Inst. Rübel in Zürich 1949, 11—23.
- Renvall, August. 1912. Die periodischen Erscheinungen der Reproduktion der Kiefer an der polaren Waldgrenze. Acta Forest. Fenn. 1.
- »— 1914. Ein Beitrag zur Kenntnis der sog. partiellen Variabilität der Kiefer. — Ibid. 3: 2.
- »— 1919. Suojametsäkysymyksestä I. — Ibid. 11: 1.
- »— 1923. Beobachtungen über die Exzentrizität des lappländischen Kiefernstammes. — Ibid. 26: 4.
- Ruden, Tollef. 1934. Fra våre nordligste skogar. — Tidsskr. f. Skogbruk 42, s. 310—315.
- »— 1949. Trekk fra Nord-Norges skogar. — Det Norske skogselskap 1898—1948. II, s. 224—241.
- Sarvas, R. 1950. Effect of light on the germination of forest tree seeds. Oikos. Vol. 2. Fasc. 1. Copenhagen.
- Scherhag, R. 1939. Die Erwärmung des Polargebiets. — Ann. Hydr. u. Marit. Met. 67, s. 57—67.
- Schove, D. Justin. 1954. Summer temperatures and tree-rings in North-Scandinavia A. D. 1461—1950. — Geogr. Ann. 36, s. 40—80.
- Schreiber, Paul. 1896. Vier Abhandlungen über Periodizität des Niederschlages, theoretische Meteorologie und Gewitterregen. Leipzig.
- Simojoki, H. 1960. Climatic change and long series of ice observations at lake Kallavesi. — Publication No 54 of the I. A. S. H.

- Sirén, Gustaf. 1952. Hakkuun vaikutuksesta kuusipuun rakenteeseen korpi-  
mailla. Summary: On the effect of releasing cutting upon wood structure of  
spruce on peat-moors. — Comm. Inst. Forest. Fenn. 40.
- »— 1955. The development of spruce forest on raw humus sites in northern Fin-  
land and its ecology. — Acta Forest. Fenn. 62.
- »— 1958. Lapin suojametsäkysymyksestä. — Stencil i Skogsbiblioteket Helsingfors.
- »— 1960. Suojametsätutkimuksen nykyvaiheita ja sen tulevia suuntaviivoja. —  
Metsätal. Aikakausl. N:o 3. Helsinki.
- »— 1961. Taka-Lapin metsien historiasta ja ilmastosta historiallisena aikana.  
Synopsis: On the history and climate of forest in Northern Lapland during  
the historical time. — Lapin Tutkimusseuran Vuosikirja II.
- Stålfelt, M. G. 1960. Temperatur. — Encyclopedia of plant physiology. Berlin —  
Göttingen — Heidelberg. s. 100—117.
- Tikhomirov, B. A. 1953. Tundrans skogslöshet och dess besegrande. — Bot.  
Journ. 4. Orig. på ryska.
- »— Om den polara och alpina skogsgränsen i Eurasien. — USSR Botanik. Orig.  
på ryska.
- Tjulina, L. N. 1937. Skogsvegetationen och dess nordgräns i Hatang-distriktet. —  
Transact. Arkt. Inst. 63. Orig. på ryska.
- Wagner, A. 1940. Klimaänderungen und Klimaschwankungen. — Die Wissen-  
schaft 92, s. 1—221.
- Wallen, C. C. & Ahlmann, H. W:son. 1954. Some recent studies in Sweden  
on the present climatic fluctuation. — Arch. Met., Geoph. u. Bioklim., B 6,  
s. 7—21.
- Wibeck, Edward. 1929. Till frågan om sambandet mellan en Orts värmeklimat  
och hårdigheten hos dess tallvegetation. — Norrl. Skogsvårdsförb. Tidskr.,  
s. 231—258, 324—372.
- Willett, H. C. 1950. Temperature trends of the past century. — Cent. Proc.  
Roy. Met. Soc., s. 195—206.
- Ångström, A. 1941. Principiella synpunkter på undersökningar över klimatets  
förändring med tillämpning på det svenska klimatet. Summary: Some points  
of principle as regards researches on climatic variations. — Geogr. Ann. 23.
- Östman, C. J. & Henrikson, H. 1942. Om köld och is i nyare och äldre  
tid. — Ymer 62, s. 27—38.

## 8. Summary

This preliminary communication on forest limit pine as an indicator of climatic fluctuations in Fennoscandia in historic times is based on annual ring series from living trees over 400 years of age, standing trees that are dead and barkless, and charcoal stumps dated by the fire scars as deriving from ancient living trees, the oldest from around 1150. The individual primary series were standardised according to formula 1 (p. 19), following which the samples were distributed by age and collection site and the mean was calculated for each of these groups. The group means were connected in turn to a final base series which covered the period 1181—1960. A serial analysis was then performed according to Kendall (1955).

The investigation included the charting of the reproduction times of forest limit pine, the variation of radial growth inclusive of causality, and the possible periodicity. The principal results were as follows.

It appears from the inventory of the reproduction times that

- climatic conditions permitted reproduction at least 3—4 times per century;
- catastrophes disturbing or wiping out reproduction had a local effect only, except for the outermost forest limit where especially fire had a catastrophic effect on the pine stands;
- the climate has been favourable during the odd centuries, which would suggest the existence of a c. 200-year climatic cycle.

The connection between climate and radial growth was clarified by comparing radial growth with various climatic elements. For lack of time, no complete regression analysis has been performed so far, and provisional formulae (p. 38) had to suffice. The best of these gave correlation coefficients  $> 0.80$ . The most important appeared to be the mean temperature of June—August adjusted for various elements, especially the mean temperature of July and the preceding summer, and the so-called «lag» effect (cf. Hustich, 1945) of the temperature conditions of the preceding ten periods of growth. The role of precipitation seems to have been quite insignificant in the forest limit area, whereas flowering, cone formation and seed ripening seem to have exerted a pronounced growth-reducing effect.

Compiled from standardised and grouped annual ring series, the *base series* extends from 1181 to 1960 and does not permit comparison with the oldest periods of time in series published earlier. The occurrence between the above base series and the short index series published earlier was, however, remarkably good — the correlation coefficient between Mikola's 1750—1949 series and the comparable period of the base series is  $0.92 \pm 0.01$  — and thus it seems permissible to assume that the base series is reliable, even those parts for which comparative material is lacking. It should be pointed out here that the material treated in a data-processing machine in this report was only about one-fourth of the material collected and accepted. Its further treatment should provide a good control.

The periodicity of radial growth was studied by Kendall's technique (1955). The correlogram (p. 21) calculated from the base series indicated harmonious elements in the base series, and a total of six periods rose over the confidence limit  $9E(S^2)$  in the periodogram constructed.

Combination of the cyclical components obtained with alternative synthesis curves gave a number of different values for the relation between the periodic and non-periodic elements in the base series; the harmonious elements proved in the best case to dominate the base series in the ratio 4.33 : 1. The synthesis curves (Fig. 14, p. 48) also showed good agreement with the base series. The last paleobotanically determined recurrence surface from around 1250 emerges in both the base series and the synthesis curves in the form of a pronounced negative superposition. Hence the length of the growing season, mean temperature and effective sum of temperatures during 1900—1960 were collated. The results obtained were then applied to the superpositional maximum and minimum periods of the synthesis curve (cf. Table 14, p. 57). The result shows that earlier forest limit fluctuations can be assumed to have been at least partly caused by the externally influenced changes in the ecological constellation indicated by the synthesis curve. The prognosis for 1960—2060 points to a marked deterioration of climate right up to c. 1975, whereafter a weak oscillation around the mean will follow.

Finally, the variations in growth due to climatic fluctuations and their significance for growth dynamics, production studies, raw material balances and silvicultural programme are discussed.



[illegible][illegible]

Pam 634.181.65 : (\*548)

Siren, G.  
Skogsgranstallen som indikator for  
klimatfluktuationerna i norra  
fennoskandien under historisk tid.

Date Due

Name

Address

University of Alberta Library



0 1620 0336 8956